وزارة الثقافة
الهيئة العامة السورية للكتاب

الجيوفيزياء المسلية



تأليف: غ.س. فرانتوف
يو. س غلوبوفسكي
ترجمة: م. شريف ناصر



الجيوفيزياء المسلية

تصميم الغلاف

أحمد إسماعيل

الجيوفيزياء المسلية

تأليـف: غ. س. فرانتــوف
يو. س. غلوبوفسكي
ترجمة: م. شريف ناصــر

منشورات الهيئة العامة السورية للكتاب
وزارة الثقافة - دمشق ٢٠١٤م

العنوان الأصلي للكتاب:

Занимательная Геофизика

الجيوفيزياء المسلية / تأليف غ. س. فرانتوف، يو. س. غلوبوفسكي؛ ترجمة شريف ناصر .- دمشق : الهيئة العامة السورية للكتاب، ٢٠١٤م.- ٢٦٤ ص ؛ ٢٤ سم.

١- ٥٥١,٠٧ ف ر ا ج ٢- العنوان ٣- فرانتوف
٤- غلوبوفسكي ٥- ناصر

مكتبة الأسد

مقدمة المترجم

لا يستطيع أحد الادِّعاء بمعرفة عدد الأجيال التي عاشت على سطح كرتنا الأرضية حتى الآن. يولد الإنسان، وينمو، ويكبر، ويعمل، ويكدح لتأمين حاجاته المتنوِّعة، ثم يشيخ، ويموت، وهكذا. إلا أن أحداً من هذه الأجيال المتعاقبة لم يتعمق بمعرفة باطن الأرض التي نعيش عليها. إلى أن جاء عصر النهضة الصناعية والتقنية، وبعد أن استنفد الإنسان كلَّ ما هو ظاهر من الخامات المعدنية التي يحتاج إليها في نشاطه الواعي، بدأ يبحث عن المطمور منها تحت سطح الأرض بحفريات بدأت بسيطة في أماكن التكشُّفات، أو مسايل الأنهار، والوديان، ثم انتهت بأن تتبَّع الإنسان عروق الفلزّات والمعادن إلى باطن الأرض. ثم شرع، مع تنامي حاجاته، يبحث تحت سطح الأرض، في الأعماق، عما يفيده من خامات، ووصل في هذا إلى مستويات معقَّدة جداً من جوانبها الفيزيائية، والجيولوجية.

لما كان هذا الموضوع جديداً، نسبياً، على القارئ العربي العادي، غير المتخصّص، رأينا ترجمة هذا الكتاب الذي يقدم لعموم القراء مادَّة قد لا نجدها في المكتبة العربية، وهي بحث في بعض القضايا الجيوفيزيائية المبسّطة التي يستطيع أيّ قارئ الإفادة منها، وتوسيع آفاق معرفته بالأرض التي نعيش عليها، وبمكامن الخامات الضرورية التي لا غنى لأي منا عنها في حياته العادية.

يأتي هذا الكتاب ضمن سياق سلسلة بدأ نشرها منذ مدة. أقصد هنا السياق المتعلّق بنشر كتب علمية مبسطة للقارئ العادي. لكنها جدية، ولا تأثير لتبسيط النصوص فيها على الأهمية العلمية للمادة المطروحة. ونحن نرى أنه لا بدّ من إغناء المكتبة العربية بالكتب المعدّة لعامّة القراء في مختلف فروع العلوم وذلك أسوة بالدول المتقدمة، وإسهاماً متواضعاً في توطين المعرفة العلمية في بلادنا. إذ إنَّه لا بدّ من طرح الثقافة الثمينة والمقدرة، ولو كان ذلك إلى جانب الغثّ الذي يملأ الأرصفة «الثقافية» مما يجب أن يذهب هباء.

إن واقع القراءة في بلادنا مزر. والوقت المخصّص للقراءة في حياة الفرد في العالم العربي يثير الاستنكار. فالأمة التي خرجت إلى الدنيا بالأبجديات الأوغاريتية والسومرية، والتي يبدأ كتابها بـ «اقرأ» أمة لا تقرأ، ويكاد الوقت المخصّص للقراءة لدى الفرد العربي، في المتوسِّط، لا يزيد عن بضع دقائق في العام. وربما كان، كما يحلو للبعض أن يبرِّر، من جملة الأعذار لهذا أن الشارع الثقافي لا يحفل بالكتابات العلمية الجديدة ما عوَّده على اجترار ما لديه منذ مئات، وربما آلاف السنين. فهل الجديد لا يثير فينا شهية القراءة، كما يثير لدى كل الشعوب الأخرى التي لا تني تبحث عن كل جديد؟ أو أننا مكتفون بما لدينا من نصوص، وراضون بتخلفنا عن كل أمم الأرض في هذا المجال، وغيره الكثير من المجالات، مستكينين وخانعين!

الجيوفيزياء علم عن بنية الأرض، وطبقاتها، ومكوناتها، وطبيعة الأعمال، والوسائل لاستخراج هذه المكنونات. ولما كان هذا الموضوع، في نظر البعض، موضوعاً اختصاصياً ضيِّقاً، فقد آثرنا، انسجاماً مع ما يجب أن تكون عليه المعرفة العامة الشاملة، أن نقدم هذا الكتاب إلى أي مهتمّ ببنية الأرض، والثروات الباطنية وكيفية البحث عنها. ونأمل أن

يثير لدى من لا يهتمّ بذلك اهتماماً يكفي لجعله يدخل هذا المضمار، ولو من باب الفضول المعرفي.

تفتقر المكتبة العربية إلى الكتب التي تتعرَّض لمثل هذه المواضيع في الشارع الثقافي العام. لذلك وجدنا أن لا بأس من هذه الإضافة المعقولة لمن يبحث عن معرفة أصيلة في قضايا مادية تمسّ حياتنا، وتوسّع آفاق المعرفة باتجاهات جديدة.

تشكّلت الأرض عبر مليارات من السنين في ظروف مختلفة لعمليات فيزيائية، وكيميائية، ولا تزال أعماقها تحتفظ بأسرار تطورها على مرّ عصور كثيرة. وهناك دأبٌ متواصل لتحديد مواقع، وأشكال الخامات، وأحواض النفط كبداية تسبق الاستثمار. ويبقى كل ما من شأنه استيضاح أعماق الأرض عملاً معقَّداً. فكيف تمكن «رؤية» ما هو موجود في باطن الأرض؟

إن بعض الظواهر الأرضية تبدو أوضح من الفضاء كامتداد الحرائق، والبراكين، والزلازل، وغيرها من التطورات غير الطبيعية للقشرة الأرضية. وتمكِّننا الصور الآتية من القمر من إلقاء نظرة على مساحة شاسعة من سطح الأرض لا تتيحها أية وسيلة أخرى. وهذا ما يسمح بالدراسة المعمّمة والشاملة.

مع التطور الهائل في التكنولوجيا الرقمية، وزيادة دقَّة تكنولوجيا التصوير والإرسال، أصبح من الممكن تقديم معلومات كثيرة ذات فوائد عظيمة في مجال الزراعة وغيرها.

تطير أقمار صناعية أطلقها الروس على ارتفاع ٣٦٠٠٠ كم فوق سطح الأرض. وبعضها يرسل كل ٤ دقائق صوراً لسطح الأرض ما يمكِّن من الدراسة التفصيلية للهزات الأرضية، وثورات البراكين والفوالق الجيولوجية في القشرة الأرضية. واعتباراً من ١٩٩٦م. تأتي معطيات تعادل

١٠٠٠٠ قرص مدمج عادي عن أرض روسيا وبعض الجوار، تمكّن مقارنتها من ملاحظة دقيقة للتغيرات التي تطرأ خلال فترة بعينها.

إن دراسة المعدن الممغنط قادت إلى نظرية المغناطيسية، والكهرمان دلَّ على الكهرباء، واليورانيوم على النشاط الإشعاعي، ودلَّت المعادن السولفيدية على خواصّ هامة للفلزّات. ولا يزال في الطبيعة الكثير من الظواهر التي لا نعلم عنها شيئاً، ولكننا نتواجه معها عند دراسة الطبيعة الجامدة، وهذا ما يثير الكثير من الفضول.

لا بدّ لأي إنسان يرغب في التخصص بالجيوفيزياء من عدم الاكتفاء بالجيولوجيا والفيزياء والرياضيات، وهي المكوّنات الرئيسة للجيوفيزياء، وإنما عليه التفاني في مهنته وعشقها.

إن بعض الألغاز ما يزال، حتى الآن، عصيّاً على الحل. فنحن لا نعرف بالتأكيد حتى الآن كيف ظهر الحقل المغناطيسي للكرة الأرضية، ولماذا هو غير موجود في كواكب أخرى. ولا نملك في هذا سوى افتراضات كثيراً ما يظهر نقيضها، أو ما يجعلنا نعيد النظر فيها. فكيف يتبادل القطبان المغناطيسيان الشمالي والجنوبي مكانيهما؟ ويربط الباحثون بين هذا الانزياح وانقراض زواحف العصر الحيواني الأوسط. فكيف سيؤثر التغير الكمِّي المغناطيسي القادم في البشرية، وهو ما ننتظره بعد بضعة آلاف من السنين. ثم كيف نشأ الشذوذ المغناطيسي الهائل؟ وبالرغم من أننا نعلم أن الأجهزة المغناطيسية تبدي تغيرات طفيفة، ونوعية في الحقل المغناطيسي، لكننا لا نعلم عن آلية العلاقة بين الهزَّة الأرضية والظواهر المغناطيسية إلا تخمينات لا نعلم مدى صدقها. كما تظهر الإحصاءات علاقة واضحة بين تغيرات المجال المغناطيسي واشتداد أزمات القلب، والأوعية الدموية، وبعض الأمراض المعدية، والماء الأزرق، والصرع. كما تؤكد الوقائع أن جحافل الجراد، بضررها الماحق على المحاصيل الزراعية إنما تظهر في مراحل محددة لما

يسمّى التغير الدوري الذي يحدث في الحقل المغناطيسي للكرة الأرضية كل إحدى عشرة سنة.

يجري الحديث في الكتاب عن جهود هائلة بذلها العلماء الروس، الذين ربما نسمع بأسمائهم للمرة الأولى، للكشف والتنقيب عن ثروات روسيا الباطنية الهائلة لاسيما في سيبيريا. ويستعرض هذا الكتاب مراحل تطوير التجهيزات التي بدأت مع بداية نشوء هذا العلم واستقلاله، وبعض ما تمَّ التوصّل إليه في العصر الحاضر.

اخترع العالم الألماني آدم شميدت عام ١٩١٠ م. ميزاناً مغناطيسياً فائق الدقَّة. وكان هذا بداية حقيقية لثورة في مجال الاستكشاف المغناطيسي. فبواسطة هذا الميزان أمكن دراسة الشذوذات المغناطيسية لفلزّات الحديد وغيرها.

ثم ظهر التصوير المغناطيسي من الجو، فأمكن تصوير، ودراسة المناطق التي يصعب الوصول إليها، كالصحراء، أو الجبال، أو المستنقعات.

ويبدو طبيعياً ما قام به العلماء والباحثون الروس من تغطية جيوفيزياء الأصقاع الروسية المترامية، بما فيها من مكامن، ومناجم للثروات الباطنية، لذلك ستجد في الكتاب استعراضاً لمعظم مناطق سيبيريا المتخمة بثروات باطنية هائلة يسيل لها لعاب الغرب الاستعماري الذي اعتاد نهب ثروات الشعوب، إذ إنَّ مادلين أولبرايت وزيرة الخارجية الأمريكية في تسعينيات القرن الماضي ذكرت ذات مرة، بكل فظاظة، أن عليهم، أي الأمريكان، ألاّ يتركوا الروس يستمتعون وحدهم بثروات سيبيريا!! .

لا تقتصر طرائق الاستكشاف المغناطيسي على الأعمال الجيولوجية فقط، وإنما يمكن، مع بعض التعديلات الطفيفة الاستفادة منها في البحث

عــن الآثــار، والعاديــات، ودراســة القواعــد الأساســية للــسدود، والــسكك الحديدية وغيرها من المنشآت.

بعــد اخــتراع الراديــو ظهــرت فكــرة اســتعمال الأمــواج الراديويــة في البحــث عــن الثــروات الباطنيــة. ونُفِّــذت للمــرة الأولى في عــشرينيات القــرن الماضي على يد علماء سوفييت بارزين. فقـد شكَّل العهـد الـسوفييتي مرحلـة ذهبيــة في تطــور العلــوم وطرائقهــا. وقــدم العلمــاء الــسوفييت إســهاماتهم الهامــة، لارتبــاط مرحلــة التــصنيع بــالنمو المتــسارع، والكــبير لأعمــال الاستكشاف، والتنقيب لتأمين الخامـات اللازمـة للتطـور الـصناعي الناشئ. ثــم ظهــر الاستكــشاف الكهربــائي الــذي اعتمــد أحــد فرعيــه علــى التيّــار الكهربائي المستمرّ وقام على دراسة المقاومة النوعيّة لوسـط يـسري فيـه تيّـار كهربائي مستمرّ، ونحن نعلم جيداً أن هذه المقاومة تختلف من مادة لأخـرى، أي أن لكل مـادة في الطبيعـة مقاومتهـا النوعيّـة الخاصّـة بهـا، ويظهـر تغـير قيمـة المقاومـة المقاسـة في أثنـاء دراسـة البنيـة الجيولوجيـة لطبقـات الأرض، أي الاستكـشاف، تغيُّـراً في بنيـة الطبقـة المدروسـة، فمقاومـة الـتراب تختلـف عــن مقاومــة الــصخور، أو الجيــوب المائيــة، أو النفطيــة، في بــاطن الأرض. ومقاومــة فلــزّ معــدني معــين، كالنحــاس، مــثلاً، تختلــف عــن مقاومــة فلــزّ الألمنيـوم. في حـين اعتمـد الفـرع الثـاني علـى دراسـة وسـط يـسري فيـه تيّـار كهربــائي متنــاوب مــع مــا يرافقــه مــن حقــول كهرطيــسية، لــذلك تــسمّى الطريقة التي تعتمده الطريقة الكهرطيسية للاستكشاف الجيولوجي.

إن الاستكشاف الكهربائي يطال الأعماق السحيقة، وتُعدّ شبـه جزيـرة كولا في أقصى الشمال الروسي، بحق، منطقة اختبـارات شاسـعة، أو ببـساطة، حقل اختبار صحّة الفرضيات عن بنية أعماق الكرة الأرضية. ولعل مـن أهـم ألغاز أعماق الأرض، وما يثير اهتماماً كبيراً جـداً لـدى العلمـاء، هـو خـواصّ الفلـزّات التي تقبع على أعمـاق تـصل إلى عـشرات الكيلـومترات تحـت سـطح الأرض وناقليتها الجيدة للكهرباء.

تحدث الزلازل نتيجة انزياح كتل كبيرة من القشرة الأرضية من مكانها. وكان لا بدّ لعلم الزلازل من اختراع مقياس يقيس الزلازل (السيسموسكوب) ومرسمة للزلازل (السيسموغراف). وتستطيع راسمة زلازل حديثة رصد الاهتزازات الأرضية التي لا يزيد مطالها عن ٠,٠٠٠١ مم. أي ١/٥٠٠ من قطر شعرة الإنسان.

كان الناس في الأزمنة الغابرة يرون أن سبب الزلازل هو حركة التنانين والحيتان والمردة التي تمسك بالأرض. ويوجّه كتابنا هذا نظر البشرية إلى السبب العلمي الحقيقي بعيداً عن الأوهام والأباطيل.

في مطلع القرن العشرين اختُرعت راسمات الزلازل. واقترح العالم الأمريكي مينتروب جهازاً محمولاً للاستشعار الزلزالي لدراسة الاهتزازات الناجمة عن الانفجارات. وتمَّ بوساطة هذا الجهاز اكتشاف سلسلة من الحقول النفطية. وتوسّع استخدامها، إنما من قبل الشركة المحتكرة لهذا الاختراع فقط. وبالتوازي مع هذا اقترح مهندس روسي هو ڤويوتسكي طريقة جديدة في الاستكشاف أسماها طريقة الأمواج المنعكسة. وتطورت عمليات الاستكشاف لتتعدى البحث عن النفط إلى استشعار مناجم الخامات عموماً.

استفاد هذا التطوير من علم البيونيك الذي يؤكد أن الأسماك تحسّ بالأمواج المرنة من خلال أعضاء حساسة لديها فاختُرعت أجهزة استقبال زلزالية تتحسّس اهتزازات الأرض حتى وإنْ لم تزد تردُّداتها عن بضعة ميكرونات.

تسمح الآبار العميقة جداً بدراسة مقطع الأرض وطبقاتها، وهي، فعلاً، بمثابة الفضاء المقلوب إلى الأسفل. ومنذ عشرات السنين ينفرد العلماء الروس بدراسة الآبار العميقة التي تمَّ حفرها في شبه جزيرة كولا في أقصى مناطق الشمال الروسي حيث تمَّ حفر آبار وصل عمقها إلى عشرات الكيلومترات. وتفتح دراسة تغيّرات المقاومة الكهربائية على امتداد

عمق البئر المحفورة نافذة عريضة اطّلع العلماء من خلالها على تكوين طبقات الأرض وما تحتويه من خامات ومعادن.

سمحت الدراسة العلمية الدقيقة باكتشاف آثار كانت قد غرقت منذ مئات السنين. فتمَّ العثور على الخزينة الإنكليزية بعد أن تمَّ تحديد مكان السد الذي غرقت فيه في موجة مدٍّ كبيرة. وهذا غيض من فيض، فقد اكتشفت في الجانب الروسي والأوكراني من سواحل البحر الأسود مدن قديمة ورد ذكرها في الكثير من وثائق تاريخ المنطقة. وتمَّ انتشال بقايا سفن غارقة منذ مئات السنين. كما تمَّ رسم مخطّط لـڤيلا قديمة جداً بالقرب من المدينة اليونانية القديمة كالوس – ليمن قبل أن تبدأ عمليات الحفر للبحث عنها. تمَّ هذا بالاستعانة بقياس المقاومة النوعيّة للخامات ما أظهر كميات التراب الذي تجمّع مع الزمن فوق المبنى، وتمَّ رسم الجدران بدقَّة قبل الشروع بالحفر. وهكذا تساعد الجيوفيزياء في كشف أسرار الماضي. كما أنها تساعد في الكشف عن أماكن وجود النفط، والغاز، والماء، ومختلف الخامات المخبوءة تحت الأرض.

تتحدث قصص قديمة عن أناس تؤثر القشرة الأرضية في أجسامهم، وخاصّة إذا ما كانت تحتوي على طبقات معدنية أو ماء. والحقيقة المعروفة عن هذه القضية تتلخص في ميل عصا يحملها الإنسان الذي يمرّ فوق عيّنة من الخام الذي يُبحث عنه. وسمّيت هذه العصا الصفصافة، وهو شجر معروف ينمو على ضفاف الأنهار، أما اليوم فيطلق عليها اسم العامل البيوجيوفيزيائي. إنّ الأحاديث عن المنقّبين والباحثين الذين يستعينون بعيدان الصفصاف وردتنا من أعماق الزمن منذ ما قبل ٥٠٠ عامٍ من الآن. وقد أتى العالم الروسي الكبير ميخائيل لومونوسوڤ على ذكر الباحثين بالصفصاف في كتاب له مطبوع عام ١٧٦٣م. ويتّضح مما كتبه عنهم أنه، وعلماء عصره، لم يكونوا قد توصّلوا بعد إلى رأي واضح فيما يخصّ هذه القضية. ويجدر بالذكر أنها ما زالت إلى اليوم مثار جدل واختلاف في

الآراء. فما زال هناك من العلماء من يعزو انحراف عصا الصفصاف إلى الخصائص النفسية والفيزيولوجية للإنسان.

إن حقيقة حساسية بعض الأفراد نحو الحقول الفيزيائية أمر لا يستدعي الدهشة، فقد تعرّضت الخلايا الحيَّة على امتداد مراحل التطور الطبيعية لتأثير حقول فيزيائية خارجية، وتتفاعل هذه الخلايا مع هذه الحقول بطريقة أو بأخرى. فقد تمَّت دراسة تأثيرات الحقول القوية كالعواصف المغناطيسية، أو كميات الإشعاع القوية بشكل دقيق. وقد وجد أن التعرّض للعواصف المغناطيسية يؤدي إلى خلل ملموس في نشاط القلب والأوعية الدموية. كما وجد أنه بين الباحثين من استشعر التأثيرات الخارجية بيديه العاريتين أو بكامل جسمه.

في الطريق إلى مطار سانت بطرسبرغ هناك منطقة تختل فيها قيمة قوة الجاذبية الأرضية، وتبلغ حداً أقصى، لا يوجد أعلى منه في حالات التصور الجيولوجي، ومصدر هذا الخلل هو الطبيعة ذاتها لذلك يلعب هذا الحدّ دور «معيار طبيعي»، لذلك أوجد العلماء الروس رصيفاً معيارياً في الطريق إلى المطار يضبطون عليه كل أجهزة قياس الجاذبية في روسيا الاتحادية. ومن غرائب الصدف أن يبدأ هذا الرصيف في المدينة التي تنتج أجهزة القياس هذه، وينتهي في منطقة القرية الحمراء.

مدَّ الروس في سبعينيات القرن الماضي خطاً حديدياً في شمال المنطقة الواقعة فيما وراء الأورال، يربط بين منطقة بحيرة البايكال ونهر الآمور. وقد اخترق هذا الخط الحديدي مناطق بكراً لم تطأها قدم إنسان من قبل، فكان لا بدّ من التفكير بالأجزاء التي يجب حمايتها، فحُدّدت بعض الأقسام، والغابات البكر لتترك كما هي.

نحن نعلم أن سيبيريا مستودع هائل، و ثمين للكثير من الخامات التي تشكل ثروة لا تنضب. وقد حدد الروس أقساماً لا بدّ من حمايتها والإبقاء عليها لإجراء الأبحاث العلمية والإنتاجية، وأقاموا الجامعات ومعاهد

الأبحـاث في تلـك المنـاطق النائيـة وأنـشؤوا حقـول الاختبـار الجيوفيزيائيـة المتعددة الأغراض والأهداف.

يطرح علمـاء الجيولوجيـا أفكـاراً وتـصورات عـن العلاقـة المتبادلـة بـين المعادن والخواصّ الفيزيائية المختلفة والإنسان. فـترى الـدكتورة دورتمـان أن اخـتلاف الخـواصّ الفيزيائيـة للفلـزّات المعدنيـة هـو الـذي سمـح للإنـسان بإنتـاج أدواتـه الأولى فـصنع الـسكاكين، والمقاشـط، والأسـنَّة الأولى، مـن الصوّان. في حين يتميّـز العـصر البرونـزي بالحـدادة وتقـسية الحديـد. وكـان العـالم الإنكليـزي الفـذّ م. فـارادي أول مـن أكّـد ناقليـة الفلـزّات الكبريتيـة الجيدة للكهرباء. لكن الجيوفيزيائيين لم يفيدوا من هذا التأكيد قبـل مـرور مئة عام عليه.

يكتشف فني صيانة في عيادة للمعالجـة الفيزيائيـة الداخليـة في أحـد مـشافي مدينـة كراسـنودار الروسـية المـدعو كيريليـان اختلافـاً في الـشفافية للضوء أثناء تأثير تيّارات كهربائيـة عاليـة الـتردُّد علـى أنحـاء مختلفـة مـن الجـسم في حـين يبقـى عـضو آخـر عاتمـاً. وتظهـر بعـض الأعـضاء انعكاسـات زرقـاء سماويـة، وأخـرى ورديـة، وغيرهـا خـضراء. ويـسجل كيريليـان هـذه الإضاءات الكهربائية عام ١٩٤٩م. ليـصبح فيمـا بعـد في صـدارة الطـراز الأول من المخترعين، وأستاذاً وملهماً لجيل لاحق منهم.

تـؤدي دراسـة الخـواصّ الفيزيائيـة لأنموذجـات الفلـزّات إلى اكتـشاف المكمـن نفـسه أحيانـاً. فقـد درس أحـد الجيولـوجيين الخـواصّ الإشـعاعية لأنمـوذج مـن فلـزّ محفـوظ في المتحـف، فوجـده ذا نـشاط إشـعاعي كـبير. وبـالعودة إلى المكـان الـذي أحـضر منـه الأنمـوذج اكتـشف مـنجم ضـخم لليورانيوم!

تحتـوي المتـاحف الجيولوجيـة المتخصّـصة عـادة علـى أنموذجـات مـن الفلزّات والخامات التي تمَّ اكتشافها في حيّـز جغـرافي معـين، لـذلك نـستطيع

القول إن هذه المتاحف تعكس لدرجة ما التشكيلات الجيولوجية المتوافرة التي تمَّ اكتشافها في المنطقة المعنية، أو أحجار النيازك المتساقطة فيها.

تولي الدول المتقدمة أهمية خاصّة لعلم الجيوفيزياء فتفتتح الكليات المتخصّصة في كبريات الجامعات. في زمن تتسارع فيه وتيرة التقدم العلمي الذي يتطلّب أكثر فأكثر مختلف أنواع الخامات، وربما تخوض الدول في سبيل الحصول عليها الحروب الطاحنة.

تقوم الكليات المتخصّصة في الجيوفيزياء ببعثات استكشافية في أوقات العطلات. تحدّد أمكنة للزيارة، وإقامة «المعسكرات» على امتداد فترة العطلة، تدرس فيها المنطقة جيوفيزيائياً، وتنفّذ مهامّاً محدّدة مسبقاً في استكشاف المكامن والمناجم على أرض الواقع وتحديد مناطق الأمل في سبيل استغلال الثروات الطبيعية التي يحتاج إليها غول الصناعة المعاصرة.

ترسل الدول سفناً تمخر عباب المحيطات، أو طائرات — مخابر تطير فوق المناطق التي لم تدرس بعد. تشكّل هذه السفن أو الطائرات محطّات جيوفيزيائية متخصّصة، تؤمّن قياساً دقيقاً للمقاومة الكهربائية النوعيّة لمختلف طبقات الكرة الأرضية، وكثافة الفلزّات، ومغناطيسيتها، والخواصّ الإشعاعية في مناجم اليورانيوم، والكثير من الخواصّ الفيزيائية الأخرى للصخور والفلزّات في مختلف مناطق الكرة الأرضية.

ومن اللافت للنظر أنّ فرق العمل التي تعمل على السفن أو الطائرات تضمّ متخصّصين متعدّدي المؤهّلات والتخصّصات والأعمال. فكثيراً ما ترى باحثاً علمياً رئيسياً في البعثة يقوم بأعمال تقتضيها الضرورة كمدير تصوير، أو طبوغرافي، أو مصور، أو مدقّق للنتائج، أو حمّال أو نجّار، أو ميكانيكي تركيب، أو دهّان، أو مشارك في تركيب وإنشاء البيوت مسبقة الصنع، أو مصلح للأجهزة الجيوفيزيائية، أو حتى طاهٍ للطعام، أو مسجّلٍ لحالة الطقس، وأوضاع المناخ. وهنا تبرز أهمية المناخ النفسي في الفرق

الميدانية بعامّة، وفي كلّ فريق على حدة، فيما يخصّ المرونة في إدارة الأفراد والكوادر، وفي تقبّل المهام والواجبات والقيام بها.

إنّ الثورة في عالم المعلومات، وما يقدّمه هذا العالم الذي يتطوّر يومياً، من جديد من وسائل وطرق التقانة الحديثة، تدلّنا بوضوح على مكان وجود الخامات، والأعماق التي توجد عليها، وكمياتها. ورغم كل هذا ما يزال هناك أمران يستوجبان التوقّف والتأمّل، أولهما أنّ الدول لا تنشر كلّ المعلومات التي تحصل عليها، سواء من الفضاء، أم من المحيطات. والأمر الثاني أنه ما يزال هناك الكثير، والكثير جداً مما لم يكتشف بعد، والمناطق التي لم تدرس دراسة كافية. وهناك الكثير مما ينتظر الجيوفيزيائيين، وعليهم إنجازه لأن متطلّبات التقدم الصناعي المتسارع لا يمكنها الانتظار. ولا بدّ من الإسراع في إنجاز التقنية التي تساعد في حل المسائل المعلقة التي أشرنا إليها. خاصّة وأن التقنية المعاصرة ما تزال متخلّفة عن بعض ما قدمته الطبيعة البكر. فأعضاء الحواس لدى بعض الحيوانات يمكن عدُّها أجهزة حيّة في غاية الدقَّة فيما يتعلَّق باستقبال الإشارة المفيدة المرتدة عن العائق، وهي تعمل بنسبة (١:٣٠)، بينما الأجهزة التي صنعتها يد الإنسان تعمل بنسبة (١:٣)، أي بنسبة تقلُّ بعشر مرات.

في نهاية الكتاب قدمنا ثبتاً بالمصطلحات الجيوفيزيائية العلمية التي وردت في الكتاب آملين أن يساعد هذا بتسهيل الفهم لغير المتخصّصين، أو لقرّاء عاديين بقاعدة علمية متواضعة، وهم من نتوجَّه إليهم بهذا الكتاب.

أخيراً، أرى لزاماً أن أتوجَّه بالشكر الجزيل لكلِّ من قدَّم مساعدة، أيَّة مساعدة، ليخرج هذا الكتاب بالصورة التي خرج بها، فيما يخصّ الشروح الضرورية، وإغناء الهوامش بتفاصيل لا بدّ منها، في قضايا الثقافة العامة، روسيّاً، وعالميّاً، والترجمة الدقيقة للكثير من المصطلحات. وأخصُّ بشكري وعرفاني الأستاذ الدكتور نوفل نيوف، الذي تعلمت منه الكثير، وكان له الفضل الأكبر في صدور الكتاب الذي ترجمته سابقاً بعنوان «تعويذة فاونوس» ضمن سلسلة «آفاق ثقافية» في وزارة الثقافة في الجمهورية العربية السورية.

شريف ناصر

(١)

الجيوفيزياء - قصيدة الأعماق



الجيوفيزياء وليدة القرن العشرين.

الجيولوجيا، والفيزياء، والرياضيات هي أسس الجيوفيزياء.

الخواصّ الفيزيائية للأعماق تكشف أسرار الطبيعة.

الجيوفيزياء تساعد في حماية الأعماق.

في كل عام يتمُّ استخراج ملايين الأطنان من الخامات الباطنية من أعماق الأرض ليتمَّ استخدامها في صناعة السيارات، والسفن، والطائرات، والأجهزة، والإنشاءات المعدنية المختلفة، وإشادة الأبنية، وشقِّ الطرق، وزراعة المحاصيل. وتحتاج فروع الحياة الاقتصادية المختلفة إلى أشكال متنوعة من المواد الأولية

كالصناعات الكيميائية، وصناعات الفضاء، والطاقة، والإلكترونيات. لذلك فإن البحث عن مناطق توافر المواد الخام هو عمل هائل يبذله الكثيرون من مختلف الاختصاصات. والجيولوجيون والجيوفيزيائيون هم المكتشفون الأوائل للخامات الباطنية.

ولإلقاء نظرة على الأعماق السحيقة للأرض يفيد الجيولوجيون من التكشُّف الطبيعي للخامات الصخرية في الشعاب، والجروف الساقطة، والمسايل، والجبال، والتشكُّلات الغرانيتية، والكلسية، والغضارية، والرملية، وغيرها. وحيث لا تتوافر التكشُّفات الطبيعية يعمدون إلى اصطناعها، فيحفرون القنوات، والحفر التي تُظهِر جدرانها، ومقاطعها ما تحتويه من خامات. وإذا ما أرادوا دراسة أعماق أكبر فإنهم يحفرون آباراً، ويستخرجون منها كسرات الخامات، ويحمِّلون مناطق انتشار الخامات المختلفة على مخططات، وخرائط خاصّة. وبهذا يحصلون على خارطة جيولوجية توضح بنية الأعماق، وتساعد في البحث عن مناجم الخامات. إن البشرية بحاجة كبيرة لمعرفة مكنونات باطن الأرض إلا أن الأمر ليس بهذه السهولة.

تشكَّلت كرتنا الأرضية عبر بضعة مليارات من السنين من خلال عمليات فيزيائية وكيميائية متنوعة لعمليات. ولا تزال أعماق الأرض تحتفظ بأسرار تطورها، على مرِّ عصور كثيرة، وبخصائص بنيتها الداخلية الدقيقة، رغم كل الجهود التي يبذلها الجيولوجيون، والجيوفيزيائيون لمعرفة ذلك. وتمرُّ سنوات من الدأب المتواصل قبل التمكُّن من تحديد مواقع، وأشكال الخامات، وأحواض النفط، وذلك كبداية تسبق استثمارها. أوليس تنفيذ مجموعات الآبار العميقة، والتنقيب في باطن الأرض، والاختبارات الكيميائية، وكل ما من شأنه استيضاح أعماق الأرض، عملاً معقَّداً!؟

هناك إمكانية لتسريع، وتسهيل عمليات البحث عن مكنونات الأرض. والجيولوجي لا يستطيع رؤية المكامن المتوضِّعة في باطن الأرض، وإنما

تتوافر لديه معطيات الحفريات المكلفة التي تتيح دراسة الطبقات الرسوبية الصخرية في مكانها فقط. فكيف يمكن رؤية ما هو موجود في باطن الأرض؟ هنا تتقدم التقنيات الحديثة في الرؤية عن بعد لتساعد الجيولوجيين بمختلف الطرق الجيوفيزيائية للاستكشاف. فالطبيب لا يستطيع بالعين المجرَّدة رؤية الهيكل العظمي للإنسان، لكنه يستطيع ذلك بوساطة أشعة رونتجن Rontgen[(١)]. وهكذا فما تحجبه الأعماق عن العيون تراه الأجهزة الجيوفيزيائية المعقَّدة.

قد يتراءى في الوهلة الأولى أن الجيولوجيا، والفيزياء فرعان من العلوم بعيدان أحدهما عن الآخر. لكن الحقيقة غير ذلك. فالفيزياء، تحديداً، هي التي ساعدت الجيولوجيين في الكشف عن عدد كبير من مكامن النحاس، والحديد، والنفط، والفحم، والماء، والملح، ومواد البناء، وغيرها.

كثيراً ما يُدهش من يقرأ كتاباً في الجيوفيزياء من الواقعة التالية:

تتحدث هذه الكتب عن عمليات وظواهر يرصدها الجيوفيزيائيون في الطبيعة، وليس في مخابر الفيزياء، حيث الظواهر المختلفة غالباً ما تحصل على نحوٍ متزامن، ومعقَّد، ومتداخل. ثم إنه لابدَّ هنا من حلٍّ لما نواجه من ألغاز.

إن جلاميد الصخر، والجبال، وتراكم المعادن اللازمة للإنسانية، وشقوق وانكسارات القشرة الأرضية، والطبقات الجيولوجية المختلفة، كل هذه الأشياء تبدو من النظرة الأولى خرساء، تعبِّر عن نفسها في حقولٍ وعملياتٍ فيزيائية. وتحيط بالكرة الأرضية حقول مغناطيسية، وكهربائية، وإشعاعية، وحرارية، وصوتية، وجاذبوية إذا ما تمَّت دراستها دراسة صحيحة، وجيدة فإنها ستتيح معرفة بنية أعماق الأرض. ويتحدث تاريخ العلوم الطبيعية العامة كيف أن دراسة المعدن الممغنط قادت إلى نظرية المغناطيسية، والكهرمان دلَّ

---

(١) **ڤلهلم رونتغن** Rontgen (١٨٤٥–١٩٢٣): فيزيائي ألماني. اكتشف الأشعة المجهولة X. نال جائزة نوبل عام ١٩٠١م. (المترجم)

على الكهرباء، واليورانيوم على النشاط الإشعاعي، والمعادن السولفيدية على خواصّ هامة للفلزّات. ولا يزال في الطبيعة الكثير من الظواهر التي لا نعلم عنها شيئاً، ولكننا نواجهها عند دراسة الطبيعة الجامدة، وهذا ما يثير كثيراً من الفضول.

إن في هذه الألغاز المعقَّدة في الطبيعة، وفي هذا البحر السرِّي، والمجهول المحيط بنا، عالماً شعرياً خاصاً من العلوم التقنية والرومانسية.

الجيوفيزياء - علم حديث العهد يدرس الخواصّ الفيزيائية للأرض، والعمليات التي تحدث في باطنها. ويستخدم الجيوفيزيائيون في أبحاثهم أجهزة مهمتها تسجيل الفروق في الخواصّ المغناطيسية، والكهربائية، وغيرها من خواصّ الخامات، والفلزّات، والتوفيق بين المعارف الجيولوجية، والفيزيائية، والحسابات الرياضية الدقيقة. ولكن أعقد المعادلات الرياضية لم تتوصل بعد إلى رسم دقيق لتوزع الحقول الفيزيائية، وما يجري في باطنها من عمليات.

ولكي تصبح متخصِّصاً في الجيوفيزياء لا تكفيك المعرفة الجيدة بالجيولوجيا، والفيزياء، والرياضيات، وإنما عليك أن تتفانى في مهنتك، وتعشقها، وأن تسعى دائماً إلى معرفة ما هو جديد، وغير مكتشف فيها. ومن المهمِّ جدًّا الاقتناع بجدوى ما تقوم به من أعمال، كي تستطيع تنفيذ الصعب منها، كأعمال المناجم، مثلاً، أو العمل في غابات التايغا[١] الملأى بالبعوض، أو في جليد القطب الجنوبي، أو احتمال التأرجح، والاهتزاز على ظهر سفينة، أو على متن طائرة، أو القيظ، أو العطش في الصحراء. مع الأخذ بعين الاعتبار أنه في هذه الظروف الصعبة يجب الاستمرار في العمل – كرصد أمرٍ ما، أو إصلاح أعطال الأجهزة، أو جمع النتائج، وترتيبها. فقط بعد هذا كله تصبح باحثاً يمكنه الحصول على نتائج هامة، ويجلب النفع في أعماله. بالإضافة إلى أنك بهذا إنما تقدم إضافات هامة جداً إلى المعارف الإنسانية،

---

(١) **التايغا**: غابات هائلة في جنوب غرب سيبيريا في روسيا الاتحادية. (المترجم)

وترى لوحة الطبيعة الأزلية، والجميلة والخالدة، وتصبح من أوائل المكتشفين. وإذا ما اغتنت أرضية الحقائق العلمية المتراكمة فإن نظريات، ونواميس، واكتشافات جديدة ستنبت فيها مع الزمن. وهكذا تنصهر الجيوفيزياء، وكل من الفيزياء، والرومانسية في سبيكة واحدة تؤدي إلى الحركة، والتفسير، والإحساس. واليوم نستطيع القول بكل ثقة إن الجيوفيزياء – قصائد أعماق الأرض. وعنها يتحدث هذا الكتاب.

في عشرينيات القرن الماضي تمَّ، نتيجة للثورة الصناعية، إنشاء مناطق صناعية جديدة، وإعادة بناء القديم منها، وتطوير الزراعة، وباقي فروع الاقتصاد، وهذا ما تطلَّب استخراج كميات أكبر من الخامات، والبحث الحثيث عن مكامن جديدة تكون أكثر اقتصادية. وأسرعت الجيوفيزياء لتقديم المساعدة، وذلك بتسريعها لكل مراحل الأعمال الجيولوجية. وهي، باعتمادها التصوير الجوي، تخفِّض مصاريف الحفر عشرات المرات قياساً بالأعمال الأرضية. ويأتي تخفيض المصاريف هذا نتيجة لأسباب عديدة. **فأولاً** يستطيع الجيوفيزيائيون، من خلال معطيات متنوعة للحقول الفيزيائية، تفسير قضايا جيولوجية غامضة، ورسم خريطة جيولوجية مبدئية للمناطق التي لم تتمَّ دراستها بعد. وبمساعدة مثل هذه الخريطة يكوِّن الجيولوجيون تصوراتهم عن مناطق الآمال بتواجد الخامات وتركيز أعمال التنقيب فيها. **وثانياً** تتوافر إمكانية التنقيب في مناطق وأوساط مختلفة. كل هذا يجعل من الجيوفيزياء علماً لا يمكن الاستغناء عنه في مجالات التنقيب الجيولوجي. يستغرق حفر الآبار شهوراً وأحياناً أعواماً ناهيك عن التكلفة العالية والمتناسبة طرداً مع الأعماق المحفورة. وبإضاءةٍ مناسبةٍ للأعماق، كأن يتمَّ ذلك بومضات كهربائية، يمكننا الاستعاضةً عن كل ٥–٧ آبار ببئر مضاءة واحدة. وبالاستفادة من تأثيرات الحقول الفيزيائية على عناصر حسَّاسة في الأجهزة الجيوفيزيائية نستطيع التعرُّف على أنواع الخامات من على مسافات كبيرة، لذلك، غالباً، ما تسمّى الطرق الجيوفيزيائية بطرق الاستشعار عن بعد.

لا يشكِّل التنقيب عن الخامات الباطنية مجالاً أوحدَ لاستخدام الجيوفيزياء، وإنما الكثير من أوجه النشاط الإنساني لا يستقيم أمره بدونها كالجيولوجيا الهندسية وعلم الآثار، والقضايا العسكرية، والكثير غيرها. وستبقى دراسة الخصائص الفيزيائية للأعماق الباطنية، والحقول الفيزيائية المتعلِّقة بهذه الخصائص ضرورية جداً للبشرية.

إن المجالات الجديدة لاستخدام الجيوفيزياء في ازدياد مضطرد. وتشكِّل حماية البيئة واحدة من أهم القضايا الحيوية للبشرية الآن. وتعمل الجيوفيزياء على حماية الأعماق، إذ إنها، وبدون تلويث البيئة، تستطيع، بأعمال الحفر والتنقيب، تحديد مكان الهدف في الأرض. كما أن الأجهزة الجيوفيزيائية تتيح مراقبة الحقول الفيزيائية التي لها علاقة بعمليات معينة في الطبيعة، وهي بالتالي تساعد في حلّ مشكلات البيئة.

يستخدم الجيوفيزيائيون في حلّ المشاكل الجيولوجية كل الظواهر الفيزيائية المعروفة، عملياً، والتي لها علاقة بالحقول الكهرمغناطيسية المتشكِّلة في الكرة الأرضية، سواء بشكل طبيعي، أم اصطناعي، وحقل الجاذبية الأرضية، والخواصّ الإشعاعية للفلزّات، والأمواج المرنة، وحقول الطاقة. إن الجيوفيزياء التي ولدت في القرن التاسع عشر تطورت تطوراً ديناميكياً مضطرداً في السنين اللاحقة من خلال تسلُّل أجهزتها إلى كل مكان.

(٢)

المغناطيس يبحث عن الكنوز الباطنية، ويحل الألغاز.



الطبيعة ملأى بالعجائب.

البداية كانت بوصلة بسيطة.

«بساط الريح» والعصا السحرية.

ثلاث ثورات في الاستكشاف المغناطيسي.

ما هي طبيعة قاعدة هذا البرج ؟

كيف يجري كلُّ هذا ؟

ما هي إمكانات الاستكشاف المغناطيسي ؟

ما زال هناك الكثير من الأسرار التي تكتنف الظواهر المغناطيسية، والكثير مما لم يتمَّ فهمه واستيعابه، بما في ذلك، وهذا مما يثير العجب العجاب. إنَّ الاستكشاف المغناطيسي يساعد في كشف أسرار بنية الأرض، وهذا ما تؤكده الحقائق، فالاستكشاف المغناطيسي يقوم على دراسة مغناطيسية الأرض، برغم أن ظاهرة المغناطيسية نفسها والكثير من خصائص الحقل المغناطيسي لم يحظَ بعد بالدراسات الكافية. إن الكثير ما يزال عصيّاً على الفهم، ويبدو أن هذه المهمة ستناط بالجيل القادم من الباحثين.

إننا، على سبيل المثال لا نعرف، بالتأكيد، حتى الآن، كيف ظهر الحقل المغناطيسي للكرة الأرضية، ولماذا هو غير موجود، عملياً، في كواكب أخرى. وقد تأكد لنا أن الحقل المغناطيسي للكرة الأرضية قد تعرَّض لتغيُّرات جذرية بعد لحظة تشكُّلِ كوكبنا الأرضي، ليس أقلها تبادل القطبين الشمالي، والجنوبي أمكنتهما مرات كثيرة، وهذه الظاهرة تسمّى التغير الكمِّي، لكن أسباب هذا التغير الكمِّي، والذي يظهر على شكل تبادل بالمكان، لم تتضح تماماً، ولا يوجد بهذا الخصوص سوى الافتراضات، من أمثال فرضيات نشوء ما يسمّى الشذوذ المغناطيسي القاريّ الهائل، كالشذوذ السلبي المدهش الذي يعلو مناجم الحديد في منطقة أنغار – إيليمسكي[١]، وبعض المناطق الأخرى في الأعماق الروسية (في العادة تكون الشذوذات التي تعلو مثل هذه المناجم موجبة)، تُرى أيُّ الافتراضات هو الصحيح؟ إن البرهان على ذلك لم يقم بعد. ونشهد الآن محاولات ناجحة في مجال التنبؤ بحدوث الزلازل بموجب معطيات تسجلها أجهزة قياس مغناطيسية وضعت في مناطق خطرة زلزالياً. قبيل حدوث الهزَّة الأرضية تُظهر الأجهزة المغناطيسية تغيرات طفيفة ونوعية في الحقل المغناطيسي (وهي ما تسمّى التغيّرات المغناطيسية).

---

(١) منطقة في وسط وجنوب سيبيريا. إلى الشمال من مدينة إيركوتسك. على نهر أنغارا. (المترجم)

لكننا لا نعلم عن آلية هذه العلاقة بين الهزَّة الأرضية والظواهر المغناطيسية إلا تخمينات لا نعلم مدى صحتها. ولم تتضح بعد آلية تأثير التغيرات المغناطيسية في الأجسام الحيَّة، على الرغم من أنه يمكن التأكيد على أن هذه التغيرات تنعكس على نموِّ النباتات، وعلى صحة الإنسان، وحالته النفسية. وأظهرت الإحصاءات علاقة واضحة بين تغيرات المجال المغناطيسي واشتداد أزمات القلب، والأوعية الدموية، وبعض الأمراض المعدية، والماء الأزرق (الغلوكوما)، والصرع. وتؤكد الوقائع أن جحافل الجراد، بضررها الخطير على المحاصيل الزراعية، إنما تظهر في مراحل محدَّدة لما يسمّى بالتغيُّر الدوري الذي يحدث في الحقل المغناطيسي للكرة الأرضية كلَّ إحدى عشرة سنة. إن تأثيرات المجال المغناطيسي على البيئة البيولوجية تحظى باهتمام كبير ليس من قبل الأطباء والبيولوجيين فقط، وإنما أيضاً من قبل الجيولوجيين، الذين يدرسون التشكيلات الصخرية ذات المنشأ الحيوي، إذ أن بعض الكائنات الدقيقة جداً، من الطبقات الكربونية المشكِّلة للكلس، بما في ذلك الطباشير المعروفة للجميع ربما انقرضت أثناء مرحلة التبادل بالأمكنة بين قطبي الأرض المغناطيسيين، وهذا ما كان يجب أن ينعكس على صلابة، وسماكة هذه الطبقات، وعلى تركيب الصخور الرسوبية. إنها أسرار، وأسرار، وأسرار... كتب عنها الكثير من الكتب والمقالات. ومن المحتمّل جداً أن يحظى حلُّ هذه الألغاز بأهمية أكبر بكثير مما نتصوره لمستقبل البشرية. وقد ربط الكثير من الباحثين بين انزياح القطبين المغناطيسيين للأرض، وانقراض زواحف العصر الحيواني الأوسط. ولعل من أكثر ما يقلق العلماء الآن هو كيف سيؤثر التغير الكمِّي المغناطيسي القادم في البشرية، وهو ما ننتظره بعد بضعة آلاف من السنين.

إن تعداد الظواهر التي لم تتضح بعد نهائياً كان يمكن أن يستمرَّ، إلا أن ما قيل حتى الآن كافٍ للقول بأن الغموض ما زال يكتنف الظواهر المغناطيسية في كثير من جوانبها حتى الآن. وفي هذا المجال تبدو الكثير من

الاكتشافات الهامة ممكنة. فالفرضيات ليست قليلة، لكن المسافة بين الفرضية، والنظرية المحددة ما زالت كبيرة جداً. وما زالت نقاشات العلماء قائمة، وأفكارهم تتصارع، والحقائق العلمية تزداد تراكماً يوماً بعد يوم.

يتجاهل الأطباء هذه النقاشات، والصراعات تماماً، ويستمرُّون بابتكار طرائق جديدة لتطبيق علاج الأمراض الباطنية بالمغناطيس، أو علاج بعض الأمراض بالتأثير المغناطيسي، كعلاج أنواع الديسك المختلفة بالاستعانة برقائق ممغنطة تسمّى «مغنيتوفور». ويلقى الحقل المغناطيسي استخدامات واسعة في مختلف المجالات التقنية (المولِّدات والمحركات الكهربائية – معالجة العامل الرغوي في المراجل البخارية وغيرها...)، ويبدو المجال المغناطيسي، وهو خطوط القوة المغناطيسية في الفراغ، طريقة واعدة بالكثير في مجال استكشاف أعماق الأرض بواسطة المغناطيس.

وتؤخذ بالاستعانة بأجهزة القياس المغناطيسية صور بتفاصيل مختلفة، تُوضع على أساسها الخرائط الجيولوجية، وتُكتشف مناجم الثروات الباطنية حتى الضعيف مغناطيسياً منها. وتوضع الحلول المناسبة لمسائل في غاية الأهمية، والإمتاع، وسنتحدَّث عن بعضها لاحقاً. هذه الصور تؤخذ من على سطح الأرض، ومن الطائرات، والسفن، والأقمار الصناعية. وتعكس بنية أجهزة القياس المغناطيسية أحدث آفاق في مجالات الفيزياء، والتكنولوجيا. كما أن دقَّة القياسات المغناطيسية مذهلة، إذ لم يكن أحد يحلم بمثلها سابقاً، وسنعود إلى هذا الموضوع لاحقاً.

كانت البداية بوصلة بسيطة... نعم إن الاستكشاف المغناطيسي بدأ من البوصلة، وبدقَّة أكثر نقول من فلزّ حديدي ممغنط جيداً – أي حجر المغنطيس، فالبوصلات الأولى كانت عبارة عن قطع من المغنيتيت، تمَّ تعليقها بحيث تستطيع الاستدارة، وأخذ وضعية متوافقة مع خطوط المجال المغناطيسي للكرة الأرضية، وأول عمليات بحث كانت في مناجم المغنيتيت،

حيث تعلوها، في معظم الأحيان، شذوذات مغناطيسية قوية يمكن رصدها بأبسط الوسائل. إن البوصلة الأولى ظهرت منذ الأزمنة السحيقة. وتقول معطيات علم الآثار (الأركيولوجيا) أنها كانت معروفة في كل من مصر، والصين القديمتين. وأول ذكرٍ لها ورد في مدوَّنات تاريخية مكتوبة قبل ٤٠٠٠ سنة. وهناك مؤشرات على استخدام حضارات الإينكا، والأستيكا، والمايا في أمريكا الجنوبية للبوصلة البدائية.

ظهرت البوصلة في أوروبا في القرن الثاني عشر، ولعبت دوراً محورياً في عصر الاكتشافات الجغرافية الكبرى[١]. وكانت، بعقاربها الفولاذية، وتعليقها المتقن تعدُّ أكثر الأجهزة أماناً، ولولاها لما تمَّت رحلات كولومبس، وماجلان. ومع أن البحارة كانوا، منذ الأزمان السحيقة، يسترشدون بالنجوم والشمس، إلا أن هذا لم يكن ممكناً في أوقات تتلبَّد فيها السماء بالغيوم. وهكذا نستطيع القول إن البوصلة فتحت للأوروبيين الكثير من البلدان. ومنذ عصر الاكتشافات الجغرافية الكبرى، ونتيجة للمقارنة بين مواقع بلدان العالم المحددة فلكياً، وتأشيرات البوصلة وجد أن العقرب المغناطيسي للبوصلة لا يشير إلى الشمال المغناطيسي، تماماً، وانحرافه عنه ليس واحداً في نقاط مختلفة على سطح الأرض. وهكذا تمَّ اكتشاف عدم التطابق بين الأقطاب المغناطيسية، والجغرافية، والشذوذات الكبيرة في الانحراف المغناطيسي. وهذا ما دفع البحارة إلى التيه، والخوف أيضاً، ونرى الدليل على ذلك فيما كتب عن رحلات كريستوف كولومبس الاستكشافية الشهيرة. اعتُبِرَ حينذاك أن نجم القطب يجذب إليه الرأس الشمالي لعقرب البوصلة، واعتُبِرَ انحراف العقرب المعلَّق أفقياً عن هذا الاتجاه نذير شؤم لقوى شريرة خفية، في حين أن هذا هو ما يُعرف الآن بالانحراف المغناطيسي.

---

(١) عرفت المغانط هنا قبل ذلك بزمن طويل في اليونان وروما القديمتين. وتحدَّث عنهما كل من تالس وإمبدوكل وأفلاطون. أما تيت لو كريتسي كار (٩٩–٥٥) قبل الميلاد فقد كتب عنهما شعراً.

إن ما لحظه كولومبس من «سلوك غريب» للبوصلة دعا علماء ذلك الزمان البعيد لدراسة المغناطيسية، لأن ذلك شكَّل حاجة ملحَّة لروَّاد البحار. وصُنعت في حينها مغانط متنوعة الأشكال، وفي نهاية القرن الخامس عشر صمَّم وليم جلبرت الطبيب الشهير لملكة بريطانيا[١] أنموذجاً للكرة الأرضية على شكل كرة ممغنطة، وكتب مبحثه المعروف «عن المغناطيس، والأجسام المغناطيسية، وعن المغناطيس الكبير – الأرض»[٢]. إن ما أكَّده جلبرت من أن الأرض هي جسم ممغنط شكَّل اكتشافاً هائلاً. وتحدَّث جلبرت من الهدف من عمله وأنه يتحضَّر «... للنفاذ إلى الطبقات الداخلية للأرض للمرة الأولى في التاريخ بالاستعانة بالتجارب على المغناطيس».

كانت هذه فكرة مدهشة في ذلك العصر، كُتب هذا قبل ٤٠٠ سنة، تقريباً، وتحديداً عام ١٦٠٠م.

عام ١٧٠١م. رسم العالم الإنكليزي إ. هالي[٣] أول خارطة للانحراف المغناطيسي. وفي نفس هذا الوقت، تقريباً، أظهرت قياسات الانحراف المغناطيسي في نقاط مختلفة من سطح الأرض، وكذلك الرصد المتكرِّر، والثابت لفترة طويلة بالاستعانة بالعقارب المغناطيسية. أن الحقل المغناطيسي يتغير ليس فقط في الأثير، وإنما في الزمن أيضاً، وهكذا تحديداً اكتُشِفَ المجال المغناطيسي المتغير للأرض. عمل علماء أفذاذ على امتداد القرنين الثامن عشر، والتاسع عشر في دراسة الظواهر، والقياسات المغناطيسية، وشارك في هذا العمل رحَّالة

---

(١) **وليم جلبرت** Gilbert (١٥٤٤–١٦٠٣) م. طبيب إنكليزي. أول من اختبر القوة المغناطيسية والكهرباء المحمَّدة. (المترجم)

(٢) صدرت بعض الطبعات في أوروبا في أواسط القرن الماضي تحت اسم: «فيزيولوجيا جديدة للمغناطيس، والأجسام المغنطيسية، والمغناطيس الأرضي الكبير، يبرهنها عدد كبير من الحجج والتجارب».

(٣) **ادموند هالي** Halley (١٦٥٦–١٧٤٢): رياضي وفلكي بريطاني. اشتهر بأعمال الرصد ودراسة المذنَّبات. إليه يُنسب مذنَّب هالي، رصده عام ١٦٨٢. وتنبأ بعودة ظهوره في ١٧٥٩. ظهر هذا المذنَّب مؤخراً مرَّتين ١٩١٠ و ١٩٨٦.

من مختلف أقطار العالم كعالم الرياضيات الألماني الفذّ ك. غاوس والعالم الروسي ن. سيميونوف، الذي أعاد غاوس طرح بعض أفكاره، واثنان من أكبر العلماء الروس في ذلك الزمان، وهما م. لومونوسوف[١]، و د. مندلييف[٢].

عمل لومونوسوف في مجال تحسين أداء البوصلة، وتمَّ بإدارته إنتاج بوصلة تسجِّل القيم ذاتياً. واقترح إنشاء مرصد مغناطيسي في روسيا تتمَّ فيه دراسة المجال المغناطيسي بشكل ثابت، ومستقرّ. كان د. إي. مندلييف صاحب فكرة الصور المغناطيسية الأولى التي نفِّذت في الأورال[٣] في روسيا لأهداف وغايات جيولوجية.

من أحرز قصب السبق في هذا كله؟ ومتى تمَّ التأكُّد من إمكانية العثور على مناجم الحديد باستخدام البوصلة؟ إن هذا مما لا نعلمه. وعلى الأرجح أننا لن نعلم عنه شيئاً. كما أننا لا نعلم من الذي ابتكر العجلة مع أن هذا كان اختراعاً عبقرياً. إن أول وصف لمحاولات التنقيب عن الفلزّات من خلال الاستكشاف المغناطيسي والتي جرت في السويد، ورد في كتابات تعود إلى القرن السابع عشر. وفي الولايات المتحدة تمَّ ذلك ابتداء من عام ١٧٦٠م. وفي روسيا اعتمد الاستكشاف المغناطيسي أول مرة في الأورال، في مناطق مناجم ماغنيتنايا، وبلاغودات، وڤيسوكايا، ومنطقة باكال[٤]. ولن نلجأ هنا إلى استعراض تاريخ

---

(١) ميخائيل فاسيليفيتش لومونوسوف Lomonossov (١٧١١ – ١٧٦٥): عالم وأديب روسي. أصلح الشعر واللغة الأدبية. له «تاريخ روسيا». وأوّل «نحوي روسي». اشترك في تأسيس جامعة موسكو، وهي ما تزال تحمل اسمه حتى الآن. يعتبره الروس من أكبر علماء الحقبة ما قبل السوفييتية.

(٢) ديمتري إيفانوفيتش Mendeleiev (١٨٣٤ – ١٩٠٧): واحد من أبرز العلماء الروس. كيميائي وضع الجدول الدوري في ترتيب العناصر الكيميائية عام ١٨٦٩.

(٣) **الأورال:** منطقة شاسعة في الداخل الروسي تضم مقاطعات وجمهوريات ذات حكم ذاتي ومحافظات روسية عديدة. تُعدُّ جبالها الممتدة بين بحر الأرال جنوباً وبحر الكارسك شمالاً حدوداً طبيعية تفصل أوروبا عن آسيا.

(٤) مناطق في جنوب الأورال. المترجم.

الاستكشاف المغناطيسي في روسيا ما قبل ثورة أكتوبر، ونكتفي بالقول إن منطقة الشذوذات المغناطيسية الفريدة في كورسك[1] افتُتحت عام ١٧٧٨ و١٧٧٩م من قبل الأكاديمي إي. إينوزيمتسيف، وإن كل الصور التي أُخذت في عهود ما قبل الثورة، قد التقطت بوساطة أجهزة ضخمة مزوَّدة بعقارب مغناطيسية.

شكَّلت السلطات الجديدة في روسيا بعد الثورة لجنة خاصّة أوكلت إليها مهمة دراسة الشذوذات المغناطيسية في كورسك. والآن غدا معلوماً للجميع أن مناجم كورسك تحتوي كميات هائلة من الحديد، تُقدَّر بمجملها بتريليونات الأطنان. وعرقلت الحرب الأهلية أعمال الاستخراج، لكن بعض أعمال اللجنة استمرَّ رغم القصف الذي أودى بحياة بعض العاملين، وتعرَّض الإداريون، ومنظمو الأعمال، والخرائط، والرسوم للإهانة والتشهير، إذ إنَّ خام الحديد الأول في كورسك لم يُستخرج قبل عام ١٩٢٣م. واكتُفيَ في البداية بفرضيات علمية عن علاقة الشذوذات المغناطيسية بوجود خامات الحديد.

قاد أعمال اللجنة المذكورة علماء روس مرموقون أمثال لازاريف، وغوبكين، وأرخانغلسكي. وقدَّم الأكاديمي كريلوف للبعثة أجهزة من صناعة وطنية مناسبة. ولم تقُد أعمال هذه اللجنة إلى اكتشاف مناجم كورسك الغنية فقط، إنما أعطت دفعة كبيرة لتطوير الاستكشاف المغناطيسي في روسيا فيما بعد.

وليس من قبيل الصدفة أن يخلِّد الشاعر الكبير ڤلاديمير ماياكوفسكي، بشعره، المشاركين في ملحمة كورسك، منوِّهاً بجهودهم الجبارة التي بذلوها لاستخراج الحديد من مناجم كورسك الغنية. وهو شعر يعرفه جميع المستكشفين بالمغناطيس، وغالباً ما يتغنون به:

إن أبواب المجد ضيِّقة
ولكنها مهما بلغت من الضيق
فسوف تلجونها

---

(١) من مدن مقاطعات الهضاب الروسية الوسطى. في وسط القسم الأوروبي من روسيا.(المترجم)

أنتم يا من جهدتم
في استخراج فلزّات الحديد
في كورسك.

بانتهاء الحرب الأهلية نما حجم أعمال الاستكشاف وفاعليتها. وبدأ بمبادرة من العالم باومن إعداد المهندسين الجيوفيزيائيين في المعهد العالي للجيولوجيا في بتروغراد (لينينغراد ثم سانت بطرسبورغ لاحقاً). ولم يكن هذا الاختصاص يُدرَّس في البلاد من قبل. وقدَّم باومن خدمات جليلة في هذا المنحى، ليس في مجال تدريب الاختصاصيين فقط، وإنما في تجهيز وسائل، وطرائق استكشاف جديدة. كما أن اسم ألكساندر لوغاتشيف يرمز إلى ثورة حقيقية في عالم الاستكشاف المغناطيسي.

إن الثورة الحقيقية الأولى في الاستكشاف المغناطيسي بدأت عندما ابتكر العالم الألماني آدم شميدت ميزاناً مغناطيسياً فائق الدقَّة عام ١٩١٠م. مع ظهور هذا الجهاز الذي أطلق عليه بعضهم اسم الماغنيتومتر M-2 أصبح بالإمكان دراسة الشذوذات المغناطيسية لدى فلزّات الحديد، وغيرها من الفلزّات التي لا تتمتَّع بمغناطيسية عالية. على أن الاستمرار في استخدام الأجهزة البسيطة امتدّ إلى أربعينيات القرن الماضي، إذ لا يزال حتى يومنا هذا بالإمكان، بوساطة أجهزة غاية في البساطة، الحصول على نتائج هامة جداً. فبانحراف مؤشر البوصلة الطبوغرافية العادية يمكن تحديد مكامن الفلزّات الحديدية، وغيرها من المواضع حتى تلك ذات المغناطيسية الضعيفة، كعروق الدياباز[(١)]، وهذا ما يمكن أن يكون هاماً، للغاية، أحياناً. ومن المثير أن نورد أن مناجم حديد سوكول – ساربايسك[(٢)] لم تُكتشف بوساطة الأجهزة الحديثة، أو التصوير الخاصّ بذلك،

---

(١) **الدياباز**: خام صخري ماغمي عميق جداً ذو لون عاتم، يتكون بشكل رئيسي من البلاغيوكلاز والأقغيت يستعمل في البناء ولرصف الطرقات.

(٢) مناطق في أقصى الشمال الغربي من جمهورية روسيا الاتحادية. (المترجم)

وإنما اكتشفها للمرة الأولى الطيار م. سورغوتانوف، الذي لفت انتباهه أنه في إحدى نقاط تحليقه ينحرف مؤشر بوصلة الطائرة عن الوضع المعتاد. أبلغ الطيار الجيولوجيين بذلك، وحدَّد المكان على الخريطة. ونال الطيار المكتشف جائزة هامة لقاء ذلك، في حين يقوم الجيولوجيون باستخراج كميات كبيرة من الحديد الآن. إنه لحدث معرفي ممتع حقاً.

إن التقاط الصور المغناطيسية من على سطح الأرض أمر يتطلَّب كلفة عالية في الوقت، والإمكانات، ويُعدُّ، تنفيذياً، من الأعمال الصعبة جداً، كالتصوير في الصحراء، أو الجبال، أو المستنقعات. ولهذا ليس غريباً أن نرى الاختصاصيين يجهدون أنفسهم بالتفكير في كيفية الإسراع في دراسة الحقل المغناطيسي، وتبسيطها. وهكذا بدأت الثورة الثانية في الاستكشاف المغناطيسي مع ظهور التصوير المغناطيسي من الجو.

في غابر الأزمان، ومنذ مئات السنين تناقل الناس أسطورة العصا السحرية التي ترشد مالكها السعيد إلى أمكنة الكنوز المخبأة في باطن الأرض. إن الأجهزة الجيوفيزيائية يمكن اعتبارها تطبيقاً لهذه الأسطورة في الواقع. إذ إنَّ هذه الأجهزة تساعد على كشف الكنوز التي تخفيها الطبيعة. كما ظهرت منذ القدم أسطورة البساط الطائر. أولم يكن هذا حلماً أيضاً!؟ حلم الإنسان بالطيران فوق الأرض. وكان أ. لوغانتشيف أول من اقترح جهاز قياس المغناطيسية من الجو، وأول من استخدمه عام ١٩٣٦م. في منطقة ستاري روسي (روسيا القديمة)، سابقاً الأمريكيين بكثير من السنين. وهو في الواقع جمع بين العصا السحرية، والبساط الطائر. ومنذ ذلك التاريخ بدأ عصر جديد في الاستكشاف المغناطيسي. وقد قام الروس بدراسة كل الأراضي التي كانت تابعة للاتحاد السوفييتي السابق بوساطة الاستكشاف المغناطيسي الجوي. وقد ضُمَّ هذا الاستكشاف إلى رصيد الجيوفيزيائيين في كل أقطار العالم، وهو الآن يعطي النتائج المذهلة. فبمساعدته أُنجزت اكتشافات جيولوجية كثيرة. أما الصورة المغناطيسية

الأولى أثناء الحركة، والتي تمَّ أخذها من الطائرة فقد حتَّمت ظهور التصوير الهيدرومغناطيسي، الذي يقتضي جرَّ جهاز ماغنيتومتر خاصّ خلف السفينة. كما اقتضت هذه الصورة ظهور الاستكشاف الجوي الكهربائي، والتصوير الجوي بأشعة غاما. والآن تُنفَّذ أبحاث جيوفيزيائية جوية، وتعطي بيانات جيولوجية فائقة الأهمية.

كانت أجهزة قياس المغناطيسية من الجو عبارة عن مولِّدات كهربائية صغيرة. وشكَّلت وشيعة من لفَّات رفيعة ناقلة كثيرة أهمَّ مكوِّناتها، حيث يظهر تيّار كهربائي عند تدويرها ضمن الحقل المغناطيسي للأرض. وبقياس قيم هذا التيّار أمكن تحديد قوة المجال المغناطيسي في كل نقطة من نقاط مسار الطائرة.

وطبيعي أن تصل أجهزة القياس من على سطح الأرض، أو من الجو إلى حالة من الدقَّة، والكمال مع مرور الزمن. كانت الدقَّة العالية مطلوبة، كذلك تمَّ تطوير طرق لحل مسائل جيولوجية هامة، وجعل حلولها أكثر موثوقية. لهذا كله تمَّ استبدال أجهزة القياس الماغنيتومترية ذات العقارب المغناطيسية، أو ما تستخدم أجهزة القياس المغناطيسي الجوي ذات الوشيعة الدوَّارة بأجهزة حديثة. فظهرت في ستينيات القرن الماضي أجهزة بروتونية لقياس المغناطيسية. فيها عنصر حسَّاس مؤلَّف من وعاء فيه سائل (ماء أو كيروسين أو كحول) وهذا السائل يحوي بروتونات. تتعرَّض محتويات الوعاء لتأثير حقل مغناطيسي قوي ينشأ عن مرور تيّار كهربائي في ملفات وشيعة خاصّة، ما يجعل البروتونات تنتظم باتجاه واحد، وبعد قطع التيّار تبدأ بالدوران حول اتجاه الشعاع المغناطيسي، وبسرعة تتناسب، طرداً، مع الحقل المغناطيسي، الذي يوجد فيه العنصر الحسَّاس. وبدا للوهلة الأولى أن الأجهزة التي صنعت على هذا الأساس كانت غاية في الدقَّة، والثبات، ولكن أجهزة قياس المغناطيسية الأدقّ، والأسرع، والأكثر فعالية كانت تلك الأجهزة التي استُخدمت فيها ظاهرة النفخ الضوئي المعقَّدة. وهي أجهزة تسمّى، غالباً، الأجهزة الكوانتية لقياس المغناطيسية. إننا لن نقدم وصفاً لعمل هذا الجهاز، ولكننا سنكتفي بالإشارة فقط إلى أنه في هذه الحالة

لن يتمَّ تحديد المجال المغناطيسي بوساطة الظواهر التي ترتبط بسلوك البروتون في الحقل المغناطيسي، وإنما بعمليات تجري في الطبقة الإلكترونية لذرّات بعض المواد – نظائر الفلزّات القلوية، أو الهليوم. وتفوق دقَّة الأجهزة الكوانتية العادية بـــ ١٠٠٠ مرة دقَّة تلك الأجهزة (ذات المراحل) التي أُنجزت بها صور «شذوذات كورسك المغناطيسية» في بداية عشرينيات القرن العشرين. وتفوق دقَّة الأنموذج الأخير من الأجهزة الكوانتية لقياس الحقل المغناطيسي المتغيِّر للأرض، والذي صُنع في أواخر العهد السوفييتي بـــ ٥٠ مرة الدقَّة الأخيرة. ولهذا، وحده، يعود فضل الحديث عن ثورة ثالثة في عالم الاستكشاف المغناطيسي، التي مهَّدت لها أبحاث غ. ڤاسيوتوتشكين، و أ. كَزلوف، و ڤ. تسيريل، و ڤ. باك، والكثيرين من جيوفيزيائيي الحقبة السوڤييتية المتميّزة.

ما هي الركيزة التي يستند إليها اعتماد الاستكشاف المغناطيسي؟ وكيف يتمُّ إنجاز الصور المغناطيسية؟ إن الجواب عن هذه الأسئلة مضجر جداً، لكن المثل يقول إنه يستحيل حذف كلمة واحدة من الأغنية.

في أيام وليم جلبرت نفِّذت بعض القياسات القليلة للمجال المغناطيسي. أما الآن حيث تسبح الطائرات، والأقمار الصناعية في الفضاء المحيط بالكرة الأرضية، وتمخر السفن المجهَّزة بمقاييس المغناطيسية عباب المحيطات، وتؤخذ في الساحات الكبيرة، في مناطق مختلفة من العالم، الصور المغناطيسية لمعابر المشاة، والسيارات، فقد أصبحنا نعرف بالضبط أن ما توقَّعه جلبرت صحيح تماماً: إن شكل القسم الأعظم من المجال المغناطيسي للأرض يبدو كما لو أن الكرة الأرضية قد تمغنطت في نفس الوقت، أو أن في مركزها يقبع مغناطيس ثنائي الأقطاب ذو قوة هائلة (DINOL) (الحقل المغناطيسي للكرة الأرضية متوافق مع مجال المغناطيس الثنائي القطبية، مع انحراف بسيط عنه). إلا أنه ظهرت على خلفية هذا المجال المغناطيسي المتجانس شذوذات مغناطيسية مختلفة، من حيث شدتها، ومقاييسها. ونحن الآن نصنِّفها في رتب ثلاث:

أولها **الشذوذات الكبيرة الأبعاد**، والتي تقترب في مساحاتها من مساحات القارات (لكنها لا تتطابق معها دائماً). وهذه الشذوذات تسمّى أيضاً **قاريّة**. إن مصدر هذه الشذوذات، برأي أغلب العلماء المعاصرين، يوجد على عمق مساوٍ لثلث نصف قطر الكرة الأرضية تقريباً. أحد هذه الشذوذات يمتدّ على كامل مساحة روسيا الاتحادية (وهي البالغة ١٧,٠٧٥٤مليون كم^{٢}) ويسمّى الشذوذ السيبيري الشرقي، ويوجد مركزه بين نهر ينيسي[١]، ونهر لينا[٢]؛ ويشمل قارة أوراسيا بكاملها.

وثاني هذه الشذوذات هي **الشذوذات المتوسطة الأبعاد**. ويتراوح عرضها بين ٥٠ و ١٠٠٠كم. وتسمّى **المناطقية**. وهي مرتبطة بمناطق جرت فيها تغيرات كبيرة في قشرة الأرض في أحد عصورها الجيولوجية، بحيث شملت هذه التغيرات مساحات كبيرة، وأدت إلى تغيّر في مغناطيسية الصخور.

والنوع الثالث هو **الشذوذات الإقليمية أو المحلية**، وتكون أحياناً صغيرة جداً، وتعكس الاختلاف في بنية القشرة الأرضية (اندفاعات مستقلة منصهرة من الماغما[٣] إلى القشرة الأرضية ينتج عنها مواد ماغمية مختلفة كالباتوليت واللاكوليت وغيرها، ومناطق الانكسارات، والكتل الصخرية وغيرها).

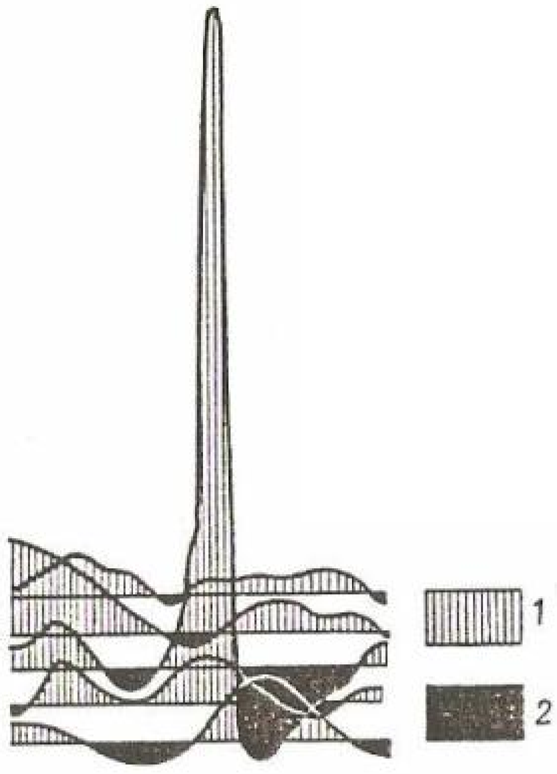
---

(١) ينبع من منطقة كراسنويارسك في سيبيريا الوسطى ويصب في خليج ينيسي في بحر كارسك المفتوح على المحيط المتجمد الشمالي. طوله ٤٠٩٢كم. ومساحة حوضه ٢,٥٨٠ مليون كم^{٢}.

(٢) ينبع من جنوب جمهورية ياقوتيا ذات الاستقلال الذاتي في شمال شرق روسيا الاتحادية ويصب في بحر لابتيف المفتوح على المحيط المتجمد الشمالي. طوله ٤,٤٠٠ كم. ومساحة حوضه ٢,٤٩٠ مليون كم^{٢} .

(٣) Magma كلمة يونانية تعني الصهارة أو الفطَحْل تتشكل الرداء (الوشاح) وهو الطبقة التي تقع بين لب الكرة الأرضية وقشرتها، وهي كتلة منصهرة تتشكل بشكل رئيسي من السيليكات، غنية بالغازات توجد في مناطق الأعماق تعطي بتبرُّدها مواد وخامات ماغمية بأشكالها المختلفة كالباتوليت واللاكوليت وغيرها. ترتفع في مناطق البراكين إلى سطح الأرض على شكل مصهورات تسيل من فوهة البركان مشكلة الصخر البركاني (الناري)، أو مقذوفات مع الغازات على شكل حطام المواد (قنابل بركانية ورماد وغيرها). (المترجم)

في التطبيقات العملية يدرس المستكشفون المغناطيسيون الشذوذات المناطقية لحلِّ المسائل الجيولوجية، لكن اهتماماً خاصّاً يولى للشذوذات الإقليمية. إذ إنَّنا بدراستنا لها بمختلف مقاييسها، وشدتها نستطيع رسم حدود بين الصخور، وإظهار مناطق الانكسارات، وتحديد التجمُّعات الصخرية، والثروات الطبيعية. (انظر الشكل ١)



(الشكل ١)

منحنيات الحقل المغناطيسي على امتداد مسارات التصوير.

وتتطابق قمة المنحني مع خامات باطنية غنية بالحديد (الماغنيتيت).

الحقل في المنطقة المخططة موجب وفي السوداء سالب.

إن الطريقة المغناطيسية في دراسة أعماق الأرض تعني، عملياً، قيام المستكشفين بالمغناطيس بقياس شدّة المجال المغناطيسي إما على مستوى

سطح الأرض، أو من فوق مستواه، أو من أعماق آبار يتمُّ حفرها خصِّيصاً لذلك. بعد هذا تُرسم بناء على المعطيات التي يتمُّ الحصول عليها خرائط، أو منحنيات بيانية لانتشار المجال المغناطيسي في مساحات القسم المصوَّر، أو حسب الخطوط المحددة للمراقبة. وبإتمام إنجاز هذه الخرائط، والمنحنيات يمكن توضيح بنية القشرة الأرضية، وتحليلها، وتحديد توافر الثروات الطبيعية. وهكذا يبدو كل شيء بسيطاً. ولكن ليس علينا كقرَّاء أن نفكر ولو للحظة، أن القيام بأعمال الاستكشاف المغناطيسي هو عمل بسيط.

إن الصعوبات تكمن في المجال المغناطيسي الذي يتمُّ قياسه في نقطة معينة، إنما هو مجموعة من المجالات ذات المغنطة المتجانسة كالمجالات القارية، والإقليمية والمحلية، فضلاً عن المجال المغناطيسي المتغيِّر للكرة الأرضية (التغيُّرات المغناطيسية). ومن هذا نستنتج أنه لدراسة الشذوذات المحلية، والإقليمية لا بدّ أن يتمَّ في المجال المدروس استثناء المجال ذي المغنطة المتجانسة، والانحرافات القارية، والتغيُّرات المغناطيسية، وليس هذا أمراً سهلاً. وإذا ما أنجزت هذه العملية بدقَّة فسوف تطفو على السطح مشكلة ثانية تتعلَّق بصعوبة تحديد أسباب الانحرافات (الشذوذات) الإقليمية والمحلية.

إن تجمُّعات الكتل الصخرية التي تسبِّب هذه الانحرافات (الشذوذات) مختلفة في تمغنطها. وأقلُّها تمغنطاً الصخور الرسوبية الكلسية، والرملية، والغضارية، وغيرها. أما مناجم الملح، وهو مادة ذات مغنطة أحادية[١]، فتصدر انحرافات (شذوذات) سلبية. ومن بين ما يستخرج من الأعماق تكون

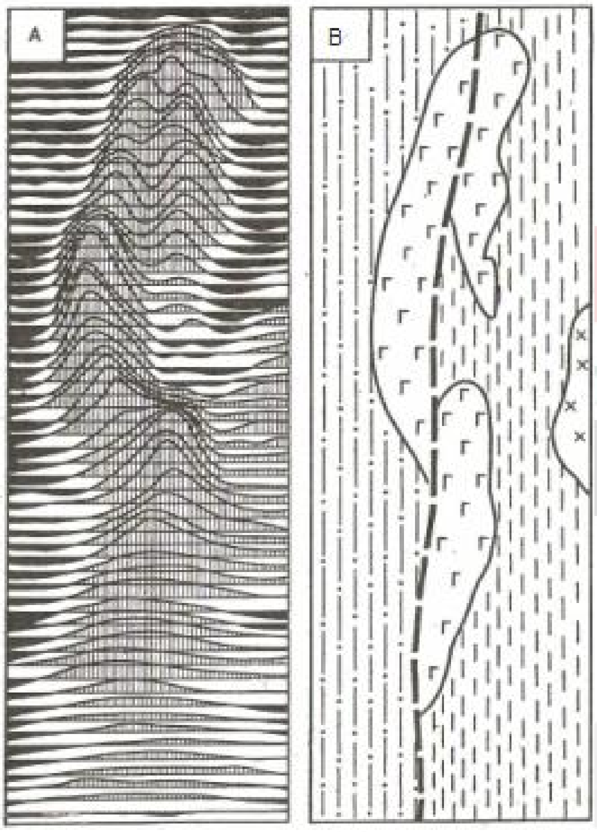
---

(١) رأينا ترجمتها هكذا التزاماً بالأمانة الحرفية فكلمة diamagnetism مكونة من dia وتعني من اليونانية مرة و magnetizm وتعني المغناطيسية. وهذا ما يعني حالة مغناطيسية للمادة تكون فيها خطوط قوة المجال المغناطيسي لها متجهة بعكس اتجاه خطوط قوة المجال المغناطيسي الخارجي الذي شكَّل هذا المجال في المادة، وهذا ما سيؤدي إلى اصطدام مجموعتي خطوط القوة. وأحادية التمغنط حالة عامة لكل المواد إلا أنه يمكن لأشكال أخرى من المغنطة أن تغطيها. (المترجم)

للصخور الحامضية، كالغرانيت مثلاً، أدنى درجات المغنطة. أما درجات المغنطة المتوسطة فهي للصخور المستخرجة ذات التركيب الأساسي كالبازلت، مثلاً، والغابرو، أما الصخور ذات درجة المغنطة الأكبر فكانت الصخور الأساسية العالية كالبيريدوتيت، والبيروكسينيت، ونوعان متباينان من فلزّات الحديد هما الماغنيتيت، والبيرّوتين. وللأسف تتغيَّر خواصّ الفلزّات المتماثلة بنوعها تغيُّراً كبيراً، ويمكن أن تكون هذه الخواصّ واحدة لفلزّات تختلف في تركيبها اختلافاً شديداً. وهكذا يمكن لبعض الصخور الحامضية أن تتمغنط بنفس الدرجة مع التركيبات الأساسية، وأمثالها. فضلاً عن هذا يتعلَّق مدى الانحرافات المغناطيسية بشكل الكتل المسببة لها، وأبعادها، وعمق طبقتها. لهذا لا يمكن أن نحدِّد تركيب التشكيلات الجيولوجية من معرفة ما تسبِّبه من انحرافات مغناطيسية. وسنحتاج هنا حسابات معقَّدة ومعطيات من طرائق جغرافية أخرى، ونتائج تنقيبات سابقة.

طرح الأكاديمي أ. أرخانغلسكي مقارنة واضحة بين استكشاف الأرض مغناطيسياً، وتصويرها بأشعة رونتجن. ووصل إلى ما مفاده أن خارطة المجال المغناطيسي تعكس بنية الأعماق الأرضية تماماً كما تعكس الصورة بأشعة رونتجن البنية الداخلية لجسم الإنسان. وهذا صحيح تماماً. إلا أن وضع المستكشف بالمغناطيس أعقد من وضع طبيب الأشعة. ففي المقام **الأول** هو يتعامل مع طبقة سميكة جداً من الفلزّات الممغنطة، يصل سمكها إلى ١٥كم. تقريباً. ومن الممكن أن تحتوي هذه الطبقة كتلاً كبيرة يتوضَّع بعضها فوق بعض كما يمكن أن يكون لها درجات مغنطة متباينة. وفي المقام **الثاني** إن ما يؤثِّر في نتائج القياس ليس فقط الكتل المغناطيسية الواقعة تحت القياس، وإنما ما يجاورها من أجسام أيضاً. باعتبار أن الانحرافات المغناطيسية تمتد إلى أبعد من حدود الأجسام التي سبَّبتها. وبمتابعة المقارنة بين الاستكشاف المغناطيسي، والصور الشعاعية المأخوذة بأشعة رونتجن نجد أن تأثير المجال المغناطيسي المتغيِّر يماثل دراسة الصورة الشعاعية إنما ليس على خلفية الإضاءة المنتظمة، وإنما على

خلفية شاشة مبقَّعة تتحرَّك بقعها بشكل متقطِّع مع الزمن حركة يتناوب فيها النور، والظلّ... غير أن هذا ليس كل شيء. فهناك الكثير من مصادر الخطأ المؤثرة في نتائج القياسات المغناطيسية، منها عطالة الأجهزة نفسها، وشكل تعاريج سطح الأرض، والأخطاء الناجمة عند تحديد إحداثيات نقط القياس، وسموت المسارات المغناطيسية في الجو، وتأثير الشبكات الكهربائية، والكتل المغناطيسية للطائرة، التي تقوم بالتصوير (وهذا ما يسمّى الانحراف) إلخ.



(الشكل ٢)

الشذوذات المغناطيسية فوق التشكيلات الصهارية (الماغمية) في مناطق الانكسارات.

A - منحنيات الحقل المغناطيسي

B - المخطط الجيولوجي (الخط الثخين –الانكسار، وعلى امتداده ثلاثة تشكيلات ماغمية)

يظهر من كل ما سبق أن واحدة من أهم المسائل التي ينبغي على المستكشفين بالمغناطيس حلها تكمن في التخلُّص من مختلف العقبات التي تحطُّ من دقَّة القياسات المغناطيسية، وإبعاد تأثير عوامل متنوعة تعيق فرز المعلومات الجيولوجية المفيدة.

في مقالة معروفة لكاريل تشابيك بعنوان «كيف تصنع فيلماً» وردت العبارات التالية: «... وهكذا، سواءً أردت ذلك أم لم تُرِد، فإنك ستبدأ من السيناريو تحديداً». إن أية صور جيوفيزيائية، بما فيها الصور المغناطيسية والمحفورة تبدأ أيضاً بمشروع سيناريو يُعدُّ تنفيذه عملاً مسؤولاً، وغالباً ما يكون صعباً للغاية. لكنه لا يخلو من المتعة، خاصّة في الظروف والمهمات الصعبة التي تتطلَّب ابتكار طرائق جديدة في التصوير. حيث نجد أن مسؤولية تصميم اللقطات المتميّزة تناط بأكثر الاختصاصيين خبرة في هذا المجال.

بعد التصديق على المشروع تنفَّذ الإجراءات التحضيرية والتنظيمية، ويتمُّ اختبار كل الأجهزة الرئيسية والمساعدة بدقَّة عالية للتأكُّد من صلاحيتها. وبهذا تنتهي المرحلة الأولى من الأعمال.

المرحلة اللاحقة هي مرحلة العمل الميداني في المناطق التي لم تتمَّ دراستها دراسة كافية. وهنا لا بدّ في البداية من الأبحاث التجريبية التي تتيح تدقيق وضبط طريقة التصوير المتبعة في المشروع. وهكذا عند تطبيق الاستكشاف المغناطيسي من الجو تُنفَّذ بضعة طيرانات استكشافية فوق منطقة معيَّنة، تؤخذ خلالها صور فوتوغرافية من الجو مع تدقيق الارتفاعات المثلى، واتجاهات الطيران، ثم يُحدَّد مكان محطات التغيُّر المغناطيسي، وتُحمَّل على الخرائط الطبوغرافية، بالإضافة إلى رسم مسارات المشروع وبعد ذلك فقط يبدأ التصوير.

عند تنفيذ الصور من على سطح الأرض يرسم الجيوفيزيائيون (أو الطبوغرافيون) مسارات الدراسة على المكان المدروس ثم بعدها فقط تبدأ عمليات التصوير. وعند استخدام مقياس المغناطيسية المحمول يسير مدير التصوير على امتداد المسار، ويقيس الحقل المغناطيسي في كل نقطة، مسجِّلاً نتائج القياس في جدول خاصّ. و تثبت بعض مقاييس المغناطيسية النتائج آلياً على شريط خاصّ.

أثناء تنفيذ أعمال القياس المغناطيسي من الجو تحلق الطائرة على ارتفاع محدَّد مسبقاً، بعد ذلك يقوم الجيوفيزيائي، بأمر من الطيار، بتدلية جندول (قارب خاصّ بالمناطيد) خفيف الوزن، وانسيابي الشكل بوساطة حبل طويل، شكله شبيه بالطوربيد، ويوجد بداخله حسَّاس، حيث يخلِّص هذا نتائج القياس من تأثير الكتل المغناطيسية في الطائرة. وحال الدخول إلى بداية مسار التصوير يشغِّل الجيوفيزيائي مسجِّل جهاز القياس المغناطيسي الجوي الذي لا يقوم فقط بتسجيل الحقل المغناطيسي على امتداد المسار وإنما يسجِّل أيضاً ارتفاع وزمن الطيران. وبينما يراقب مدير التصوير عمل الجهاز، يقوم الملاّح، أو مدير تصوير جوي خاصّ، بتنفيذ اللقطات الجوية المطلوبة. وهذا ما سيؤدي إلى رسم المنحني الدقيق لتغيُّرات المجال المغناطيسي على الخريطة الطبوغرافية.

تستخدم أحياناً أجهزة تعتمد تقنية راديوية للحصول على نتائج مبرمجة، وأدقّ، تسمّى الأنظمة الراديوجيوديزية. يمكن تصوُّر عملها عموماً كما يلي:

عندما ترسل محطتان، أو ثلاث محطات راديوية أرضية إشارات ثابتة تحدد شبكة إحداثيات خاصّة غير مرئية على جزء معين من الصورة. يستقبل جهاز معقَّد موجود على سطح الطائرة هذه الإشارات اللاسلكية القادمة من المحطات الأرضية ويحللها، وبهذا يحدد الجهاز إحداثيات الطائرة ويسجلها.

تتمُّ المعالجة النهائية للصور، ورسم الخرائط التفصيلية بمساعدة الحاسوب، إذ يتمّ تسجيل المعطيات بصيغة رقمية، وفي زمن الأجيال الأولى من الآلات الحاسبة كانت المعطيات تسجّل على شريط ممغنط، أو بمساعدة ما كان يسمّى البيرفوراتور Perforatore وهما يسمحان بإعطاء معطيات الصور إلى جهاز الحاسب، حيث يمكن حساب عمق الكتل الجيولوجية، وخواصّها المغناطيسية، وعناصر الطبقات الجيولوجية، وخطوطها المكوِّنة للشذوذات المغناطيسية.

استفاد محللو المعلومات الجيولوجية من عدد كبير من الأجهزة التي ابتكرتها أجيال سابقة كثيرة ممن عملوا في الاستكشاف المغناطيسي. ويأتي اسم العالم الكبير ف. باومن في رأس قائمة العلماء الذين قدَّموا إسهامات كبيرة في مجال التحليل الجيولوجي كمَّاً وكيفاً.

تعدُّ الخرائط المغناطيسية أهمّ مكوِّنات التحليل الجيولوجي النوعي. إذ إنَّه يكفي النظر إليها، وبالعين المجردة غالباً، لتحديد شكل وميل (زاوية انحدار) الكتل الجيولوجية، وأخذ فكرة تقريبية عن تركيب الفلزّات المكوِّنة لهذه الكتل، وتمييز الحدود بين الأقسام المتمايزة على أساس بنيتها الجيولوجية. وتساعد على هذا طرائق التماثل والمشابهة (القياس)، في تحليل أشكال منحنيات مستقلة للمجال المغناطيسي، ومواصفاته السكونية (الستاتيكية) الخاصّة. يكفي أن نقول إن تموُّج منحنيات المجال المغناطيسي، أو انسيابيتها تعني الكثير. ولا يمكن البدء بالحسابات التي توصِّف مصادر الشذوذات المغناطيسية قبل إتمام التحليل الجيولوجي. إن الحافة العليا للتشكيلات المسببة للشذوذات المغناطيسية تقع على عمق يمكن تحديده بدقَّة تصل إلى (10 - 20)%. غير أن الحسابات المتعلِّقة بالحافة السفلى لهذه التشكيلات أقلُّ دقَّة، وفي كثير من الحالات تكون غير ممكنة.

يمكن بالترافق مع حسابات الشذوذات المغناطيسية تصميم أنموذجات للتشكيلات المدروسة، ودراسة تأثير العوائق، والاستفادة من معطيات الطرق الجيولوجية والجيوفيزيائية الأخرى. وفكّ رموز الصور الجوية التي غالباً ما تعطي معلومات قيِّمة.

عند إتمام عملية التحليل الجيولوجي ينظِّم القائمون عليها تقريرهم بشأنها، ويضمِّنونه وصفاً لطرق التصوير، ونتائجها، وخرائط، ومنحنيات بيانية للمجال المغناطيسي.

هذا ما كانت عليه طرائق التصوير الجوي المغناطيسي والأرضي والتعديلات الأساسية على طريقة الاستكشاف المغناطيسي في نهايات القرن العشرين.

لا يقتصر استخدام طرائق الاستكشاف المغناطيسي على الأعمال الجيولوجية فقط، وإنما يمكن، مع تعديلات طفيفة، الاستفادة منها في البحث عن الآثار والعاديات، ودراسة القواعد الأساسية للسدود، والسكك الحديدية، وغيرها من المنشآت. وهناك حالات تستخدم فيها الصور المغناطيسية في البحث الجنائي، أثناء التفتيش عن الآثار والكنوز الدفينة. إن الصور المغناطيسية الجوية للمسارات، والمساحات في القارة القطبية الجنوبية توضح بجلاء سلسلة الجبال المدفونة تحت جليد هذه القارة، فتتمُّ دراسة قواعدها الصخرية، وهذه الدراسة تستمدُّ أهميتها من أن إجراء الأبحاث من على سطح الأرض على هذه القارة هو أمر في غاية الصعوبة، أما أول عملية استكشاف مغناطيسي من الجو فقد قُيِّضَ لكاتب هذه السطور أن يجريها للمرة الأولى، وقد أعطت نتائج سريعة بكلفة قليلة.

يشكل الاستكشاف عن طريق حفر الآبار العميقة شكلاً خاصّاً، ومتميّزاً جداً من أشكال الاستكشاف المغناطيسي. ويتلخص فحوى هذه الطريقة بإنزال أو تدلية أجهزة خاصّة بوساطة حبل في بئر محفورة خصِّيصاً لذلك، فتحدّد

هذه الأجهزة الخواصّ المغناطيسية للفلزّات التي تمرّ بها البئر المحفورة، أو تسجل تغيرات الحقل المغناطيسي على امتداد عمق البئر. يمكننا معرفة الخواصّ المغناطيسية للفلزّات من خلال تحديد الطبقات المتقاطعة للفلزّات، دونما انتقاء لعيناتها، وهذا يتطلب زمناً وكلفةً كبيرين، في حين تحدِّد القياسات المختلفة للمجال المغناطيسي الطريقة التي تتوضَّع بها كتل الفلزّات المنتشرة في محيط البئر المحفورة.

إن استخدام طريقة الاستكشاف المغناطيسي في مناجم الفلزّات يساعد في توجيه الأعمال توجيهاً صحيحاً نحو مكامن الفلزّات الباطنية، كما أنه يعطي نسبة مئوية تقريبية عن وجود الحديد في المناجم، وعن قيمة هذه النسبة في الفلزّات المستخرجة المتجهة إلى مصانع التعدين.

لعل أهمّ استعمالات الطرق المغناطيسية هي الطريقة المسمّاة البحث المغناطيسي المتخصّص، الذي يقوم على قاعدة أن صخور الفلزّات تتمغنط ليس فقط بتأثير المجال المغناطيسي القائم في حينه، وإنما تستحوذ على ما يمكن تسميته مغناطيسية مختزنة، تعكس حالة المجال المغناطيسي الذي كان سائداً في لحظة ولادة هذه الصخور. وهذا يشبه الحالة التي يقدِّر بها الاختصاصيون بعلم الحفريات عمرَ طبقات الأرض من صور الكائنات الحيَّة القديمة المطبوعة على الصخور، إذ يستطيع الاختصاصيون بالمغناطيسية إعطاء تواريخ الحقب مستعينين بالمغناطيسية المختزنة، حتى في حالات العجز التي لا يتوافر فيها للاختصاصيين أيّة آثار للحياة العضوية في الطبقات الجيولوجية المتراكمة. فيتمُّ اختيّار أنموذجات صخرية من مختلف بقاع الأرض، ثم تتمّ الاستعانة بأجهزة خاصّة تحدّد اتجاه شعاع التمغنط المختزن الذي يشير إلى مكان القطب المغناطيسي في مرحلة تشكُّل الطبقة التي ينتمي إليها الأنموذج الصخري. إن موضع القطب المغناطيسي، وهو الآن يتحرك بسرعة 5 كم. في السنة، وتوزّع

تبدُّلات المجال المغناطيسي على امتداد عصور جيولوجية مختلفة معروفة لدينا تماماً. وهذا ما يسمح بإمكانية تقدير عمر الصخور. وهو أمر بالغ الأهمية في رسم الخرائط الجيولوجية، وفي أهداف بحثية أخرى. وتشغل استخدامات الأبحاث المغناطيسية المتخصصة في زمننا الحاضر أهمية فائقة في مجالات الجيولوجيا البحرية.

عند دراسة نتائج التصوير الهيدرومغناطيسي للمحيطات تمَّ التأكُّد من التوزُّع المتناظر تماماً للشذوذات المغناطيسية بالنسبة لسلاسل الجبال التي تتوسّط هذه المحيطات. كما طرحت فرضية تقول بأن هذه الشذوذات المتناظرة تعكس التبدُّلات المغناطيسية، والتوسّع في قاع المحيطات، وبالتالي حركة القارات. وقد كتب الجيولوجي آ. ڤيغنِر في بدايات القرن العشرين عن حركة القارات مورداً سلسلة من البراهين المؤيدة لفرضيته، إلا أن الغالبية العظمى من الجيولوجيين رفضتها وأهملتها. وتطلب الأمر براهين وحجج جديدة. وهذا ما جاء بعد أن سمح توضع الشذوذات المغناطيسية حول سلاسل جبال المحيطات وتدريجة تبدُّلات مواضع القطب بتقدير الحقب التاريخية التي تمَّ فيها تشكل مختلف مناطق قاع المحيطات. وأصبح واضحاً أن الصخور الأحدث تشكُّلاً تتوضَّع في سلاسل جبال المحيطات، وأن هذه المحيطات تتوسّع باستمرار، وأن القارات تتحرك باستمرار أيضاً. وصار ممكناً تحديد سرعة النمو. والآن أصبح هذا أساساً لما يسمّى النظرية الكروية للألواح، وتغيَّر التصوُّر السابق عن التاريخ الجيولوجي للأرض جذرياً.

إن إبداعات الأجيال القادمة من المستكشفين بالمغناطيس ستأتي بالكثير من الاختراعات المشابهة والمفيدة.

بقي الاستكشاف المغناطيسي حتى نهاية القرن العشرين يتمتَّع بفاعلية عالية، ناهيك عن أنه يعدُّ من أرخص الأعمال المتعلِّقة بدراسة أعماق الأرض

كلفة. وهكذا تبدو نبوءات شاعر بولونيا الأكبر آدم ميتسكيڤيتش[١] فذَّة وعبقرية إذ كتب، في حينه، في إحدى قصائده:

كيف عاش كوكبنا

وكيف عاش الناس على سطحه

بلا تدفئة أو مغناطيس أو إنارة

أو بلا أنوار الكهرباء

---

(١) آدم ميتسكييڤيتش Mickiewicz (١٧٩٨ – ١٨٦٦) أكبر شعراء بولونيا. قضى أكثر حياته في المنفى. من مجموعاته: «الأجداد». (المترجم)

(٣)

كيف تخترق الأمواج الكهرطيسية الأرض !

- كيف تسير أمواج الإشعاع، والراديو تحت الأرض،
- جُعل كاليبوغون ريليكتوس، والاستقطاب المحرَّض.
- أنطوان سانت أكزوبيري، والاستكشاف الكهربائي الجوي.
- الطبقة ذات الناقلية العالية للكهرباء تقع في الأعماق السحيقة.

يقول الجيوفيزيائيون إن الاستكشاف الكهربائي هو الملك في عالم مناجم الفلزّات. فما الذي دفعهم لقول هذا؟

إن طرق الاستكشاف الكهربائي تقوم على دراسة الخصائص الكهربائية للعينات الجيولوجية المدروسة، التي غالباً ما تختلف في مقاومتها الكهربائية النوعيّة عما يتواجد بقربها، أو يختلط معها من صخور. إن هذا الأمر إذا ما أضيف إليه توافر أجهزة بسيطة، ورخيصة لقياس المقاومة الكهربائية النوعيّة، قد ضمن النجاحات الأولى للاستكشاف الكهربائي. نذكّر هنا أن المقاومة النوعيّة للفلزّات الصخرية تساوي عددياً مقاومة سنتمتر مكعب واحد من المادة لمرور التيّار الكهربائي المتجه عمودياً إلى أحد وجوه المكعب المشكَّل من الفلزّ. تستعمل في الاستكشاف الكهربائي، عادة، واحدة لقياس المقاومة النوعيّة تسمّى (أوم. متر) وهذا يساوي ١٠٠أوم. سم.

ظهرت باكورة الأعمال عن الاستكشاف الكهربائي في روسيا القيصرية عام ١٩٠٣م. وكتبها المهندس راغوزين وكانت بعنوان «عن استعمال الكهرباء في أبحاث عن المكامن المعدنية». أما العالم الفرنسي الكبير ك.ش. شلومبيرجه Schlumberger فقد ابتكر عام ١٩١٠م. طريقة قياس المقاومة النوعيّة في أثناء مرور تيّار كهربائي مستمرّ في الأرض، وهذا ما لقيَ، لاحقاً، انتشاراً واسعاً.

بعد ذلك بقليل، وبعد اختراع الراديو، ظهرت فكرة استعمال الأمواج الراديوية في البحث عن مكامن الثروات الباطنية. وفي عشرينيات القرن الماضي نُفِّذت هذه الفكرة بابتكار طريقة اختراق أعماق الأرض بالأمواج الراديوية من قبل علماء سوڤييت على رأسهم آ. بوبوف، والبروفسور آ. بتروفسكي، و ب. دوستاڤالوف، وغيرهم.

إن مرحلة التصنيع في روسيا كانت وثيقة الارتباط بالنمو المتسارع، والكبير لأعمال الاستكشاف، والتنقيب. وقد توسّعت أعمال الاستكشاف الكهربائي بشكل خاصّ، وشملت أبحاثها، بالإضافة إلى مناجم النحاس، والمعادن البيضاء الأخرى، مناجم كل من الفحم، والذهب، والمعادن الثمينة،

ومواد البناء، وغيرها الكثير من الثروات الباطنية. في عام ١٩٢٨–١٩٢٩م بدأ استخدام طريقة الاستكشاف الكهربائي في البحث عن النفط والغاز.

شكَّل العهد السوفييتي مرحلة ذهبية في تطور العلوم وطرائقها، وقدَّم الكثيرون من العلماء السوفييت إسهامات هامة في تطوير مختلف فروع العلوم، ومن بينها تطوير طرائق الاستكشاف الكهربائي، وكان من أشهرهم في هذا المجال ف. فوك، وف. بورسيان، و ف. داخنوف، وآ. زابروفسكي، و آ. تيخونوف، وكثيرون غيرهم.

طرق الاستكشاف الكهربائي هي طرق موجَّهة لحل القضايا، والمسائل الجيولوجية، أساسها دراسة خصائص الحقول الكهرمغناطيسية على سطح الأرض، وتحليلها سواء كان هذا في الآبار العميقة، أم في الفضاء الكوني، أم في البحر. ويضاف إلى هذا دراسة الخواصّ الكهربائية لكتل الفلزّات، والخامات. ويمكن تصنيف طرائق الاستكشاف الكهربائية إلى مجموعتين **إحداهما** تسمّى الاستكشاف بالتيّار الكهربائي المستمرّ، وهي قائمة على دراسة المقاومة النوعيّة لوسط يسري منه تيّار كهربائي مستمرّ. و**الثانية** تقوم على دراسة وسط يسري فيه تيّار متناوب مع ما يرافقه من حقول كهرطيسية، وتسمّى الاستكشاف الكهربائي بالتيّار المتناوب، أو الطرق الكهرطيسية للاستكشاف الجيولوجي.

إن الوسائل التقنية الأساسية لإنجاز أعمال الاستكشاف والتنقيب هي أجهزة القياس، وتوليد الكهرباء، بالإضافة إلى مجموعة تجهيزات مساعدة كالإلكترودات، والأسلاك الناقلة للكهرباء، ومصادر التغذية الكهربائية. تستخدم في طرائق الاستكشاف الكهربائي بالتيّار المستمرّ إلكترودات تأريض. ينتقل تيّار البطارية مارّاً بإلكترودين اثنين عبر الأرض. يسمّى هذان الإلكترودان إلكترودا التغذية ويرمز لهما بالحرفين A و B. وبمساعدة إلكترودين آخرين M و N، يسمّيان إلكترودا القياس، يتمُّ قياس التوتر الذي يظهر في الأرض نتيجة مرور التيّار الكهربائي. وبمعرفة التوتر في دارة

إلكترودي التغذية نستطيع، بالاستعانة بقانون أوم، حساب المقاومة النوعيّة الكهربائية لكتل الفلزّات. وكلما زادت المسافة بين الإلكترودين مرَّ التيّار على عمق أكبر في الأرض. وطالما أن عملية قياس التيّار المار في الأعماق الكبيرة ستتمُّ على سطح الأرض فإنه سيأتي بالمعلومات عن المقاومة النوعيّة لفلزّات هذه الأعماق. وهذا يعني أننا لن نحتاج لحفر آبار عميقة ورفع نواتج الحفر لمعرفة المقاومة النوعيّة لكتل الفلزّات في الأعماق السحيقة، وإنما سنستعمل أجهزة استكشاف كهربائي بسيطة للغاية.

تسمّى دراسة تغيّرات المقاومة النوعيّة على أعماق مختلفة السبر الكهربائي. ويختلف السبر الكهربائي عن طريقة إجراء المقاطع الكهربائية التي يتمُّ خلالها، بتحريك الإلكترودات AB و MN جانبياً على سطح الأرض، استقصاء المقاومة النوعيّة للفلزّات إنما على عمق واحد فقط.

يسمح السبر الكهربائي بالحصول على معلومات عن الفلزّات في الحيِّز المسبور بمقاومة نوعية مختلفة في قيمها، وذلك قبل البدء بأعمال الحفر عالية الكلفة. وقد ورد اسم السبر الكهربائي في الكتب التعليمية الأولى عن الاستكشاف الكهربائي تحت اسم التنقيب الكهربائي. وهناك أمثلة عن السبر وإجراء المقاطع في الفصول المتعلقة بالبحث عن المياه، أو الأعمال الأركيولوجية المتعلقة بالآثار.

اصطدم استخدام الاستكشاف الكهربائي بالتيّار المستمرّ بمجموعة من العوائق الجدِّية. فبحسب قانون أوم لا بدّ لقياس القيمة المتوسطة للمقاومة النوعيّة للفلزّات من تمرير تيّار كهربائي عبرها. وهذا ما يتطلب وجود إلكترودات تأريض يمر التيّار عبرها إلى الأرض. وهذه الإلكترودات سوف تدفع بالأمر نحو التعقيد. ففي الجبال الصخرية، أو المستنقعات، أو غيرها من الأماكن التي يصعب الوصول إليها، أو المرور فيها يغدو الأمر في غاية الصعوبة، لهذا نجد طرائق الاستكشاف الكهربائي التي تعتمد إلكترودات التأريض في مثل هذه المناطق لا تستخدم عملياً. مثل هذه المناطق كثيرة في روسيا الاتحادية فهي

تشمل مناطق واسعة من كاريليا، وشبه جزيرة كولا[١]، ومنطقة كراسنويارسك، وما وراء البايكال[٢]، وياقوتيا في الشرق الأقصى، ومناطق الشواطئ البحرية. وللتخلُّص من كلِّ هذه الصعوبات ابتكر العلماء الروس أجهزة استكشاف كهربائية لا تستخدم الإلكترودات، وإنما تعمل على الموجات الراديوية.

يمكن بالإضافة إلى نقل المعلومات استخدام الأمواج الراديوية لحلّ معضلات التنقيب. إذ إنه يمكن بالاستعانة بجهاز الراديو القيام ببعض التجارب الجيوفيزيائية البسيطة. وهنا يجب أن نعلم أن قوة الإشارة الراديوية المستخدمة تتعلق بنوعيّة الفلزّات المعدنية الموجودة تحت جهاز الراديو تماماً. يلاحظ حامل الراديو الجالس في عربة القطار أنه عندما يمرّ القطار قريباً من العوارض الفولاذية لجسور سكك الحديد يتأثَّر سماعه للصوت بحسب مكان وجوده في العربة، فهو قرب نافذة العربة أوضح منه قرب جدارها المعدني. فإذا ما وصلنا مكان سماعات الأذن في الراديو جهاز قياس – مقياس ڤولت، فإنه يمكن قياس سعة موجات الراديو. إن موجات الراديو ترتدُّ منعكسة عن سطح الفلزّات المعدنية ذات المقاومة النوعيّة المنخفضة تماماً كما ترتدّ عن الجدار المعدني لعربة القطار. فإذا ما كان المعدن مدفوناً في باطن الأرض، ونحن، طبعاً، لا نراه فإن الموجات الراديوية، بما يحدث من تغيُّرٍ في قوتها، تنبئنا بوجوده، بإشارتها إلى وجوب وجود جسم فلزّي في المقطع المدروس. فإذا ما قيست سعة الموجات في نقاط مختلفة من المقطع، فإنه في الموضع الذي يعلو الجسم الفلزّي ستبلغ السعة قيمتها الأعظمية، التي تسمّى «شذوذاً». يمكن بأخذ نتائج القياس في نقاط

---

(١) شبه جزيرة كولا تقع في أقصى شمال روسيا الاتحادية، إلى الشمال من جمهورية كاريليا ذات الحكم الذاتي، على الحدود الشمالية الشرقية لفنلندا، يقع فيها ميناء مورمانسك الشهير.

(٢) ما وراء البايكال هي منطقة تمتّد بين بحيرة البايكال وحدود كل من الصين ومنغوليا في جنوب وسط وشرق سيبيريا. والبايكال أعمق بحيرة في العالم تبلغ مساحتها ٣١٥٠٠ كم٢ وعمق أخفض نقطة فيها ١٦٢٠ متراً. (المترجم)

المقطع التي سجَّل فيها جهاز الدارس القيم المختلفة للسعة إنشاء منحني تغيّرات قيمة السعة في نقاط مراقبةٍ مختلفة. وقد صمَّم جهاز خاصّ للمراقبة، يتألف من **مولِّد كهربائي محمول** يتصل بحلقة توليد تنشئ حقلاً كهرطيسياً يتراوح تردُّده ما بين ١٢٥ هرتز و ٢ ميغا هرتز، **وجهاز راديو محمول** يعمل كمقياس فولت دقيق جداً، **وحلقة استقبال** (عبارة عن ملف وسلك ناقل). يحمل أحد عمال التشغيل المولِّد المحمول، بينما يحمل عامل ثان جهاز القياس ويسير خلف زميله على بعد بضع عشرات من الأمتار، ويجري القياسات بلا أيّ تأريض. ويسير معهما الدارس الذي يقوم بتسجيل القراءات التي يعطيها الجهاز.

لا تلاحظ أيّة قيم أعظمية على منحني التغيّرات في الوسط المتجانس – فلا تتشوَّه خطوط الحقل الكهرطيسي. أما في الوسط غير المتجانس، حيث توجد أجسام ناقلة للكهرباء، كخامات الكبريت وغيرها، فإن توتر الحقل الكهرطيسي يتغيّر. فتظهر الشذوذات والانحرافات على منحني التغيُّر (الخط البياني) في المنطقة التي تعلو كتل الخامات.

هكذا يجري البحث عن الخامات بالطريقة التي أُطلق عليها اسم **إجراء المقاطع الكهرطيسية المزدوجة - حالة العمل على سطح الأرض.** وهذه الطريقة تتميّز باقتصاديتها الملموسة إذا ما قيست بطريقة الاستكشاف الكهربائي الذي يعتمد إلكترودات التأريض.

إن الكثير من القطاعات جاء به الجيوفيزيائيون. فقد عملوا في مناطق غير معروفة، وغير مدروسة بما يكفي، كالغابات التي يصعب الوصول إليها في التايغا، حيث خفَّفت الأجهزة غير المؤرَّضة عناء التقاط الصور إلى حدٍّ كبير. وأُنشئت نتيجة لهذه الجهود خطوط بيانية كثيرة، تُظهر نهاياتها الحديّة (قممها) الخاصّة بالشذوذات كتلَ الخامات والتشوهات في القشرة الأرضية، هذه التشوهات تظهر على شكل شقوق في القشرة الأرضية في الأمكنة التي تتركَّز فيها مناجم الخامات. وبغية توضيح هذه التشوُّهات يقوم الجيولوجيون بأعمال

حفر عالية الكلفة، فيحفرون عدة آبار. لكن يمكن أن يقع خام الفلزّ بين الآبار! فكيف يمكن حينذاك العثور عليه؟ إن ذلك ممكن بإرسال موجة راديوية تخترق أعماق الأرض واستقبال انعكاسها عن الأجسام المختلفة التي تخترقها. يتمُّ إنزال محطة راديو محمولة –مولِّد إشارات راديوية في إحدى الآبار، وفي بئر أخرى يُنزَّل جهاز لاستقبال هذه الإشارات. فإذا لم يكن هناك فلزّات معدنية بين البئرين فإن جهاز الاستقبال سيستقبل الإشارات التي تسجلها أجهزة القياس. أما إذا كان هناك فلزّات معدنية بمقاومة نوعيّة منخفضة فإن الإشارات الراديوية ستنعكس على سطحها ولن تصل إلى جهاز الاستقبال. ونقول حينئذ إنَّ منطقة ظل تقع بين البئرين تشير بوضوح إلى وجود خامات معدنية.

تتميّز بعض فلزّات المعادن بخواصّ معقَّدة، وهذا ما يجعل البحث عنها أمراً صعباً. وتأتي فلزّات القصدير في مقدمتها. هذا المعدن الذي يستعمله الجميع، ولكن خواصّه لم تُدرس بعد دراسة كافية. وقد أورد الأكاديمي ا. فيرسمان في كتاب أطلق عليه اسم «الجيوكيمياء المسلية» ما يلي:

«يوجد القصدير في الطبيعة أساساً على شكل أكاسيد القصدير، لبلّوراتها الجميلة والقاسية كالصوَّان مقطع مربع، وهي ما يسمّى خام الكاستيريت. تعطيه شوائب الحديد القليلة لوناً أسمر داكناً مائلاً للسواد ينفرد به عن غيره. وأول ما يُقابل في صدوع الغرانيت المشبعة ببخار حمض الفلور». إن الناس الذين يتعاملون مع معدن القصدير الجاهز للاستخدام لا يهتمُّون بكيفية التنقيب عنه.

«كاليبوغون ريليكتوس –جُعَلٌ قديم جداً ونادر الوجود» – هكذا يبدأ كل من يو. ليفشيتس، وس. ميشيرياكوف حكايتهما الأسطورية في البحث عن القصدير في جريدة إيسكري (الشرارات) الصادرة عام ١٩٦٢ في موسكو. المؤلفان جيولوجيان بالاختصاص، وهما يستطيعان تأكيد وجود القصدير فقط عندما يقعون على كسرة، مهما كانت صغيرة، من «حجر القصدير»، أي الكاستيريت. وعند ذلك سيبدآن بالبحث عن مصدر القصدير، والعرق الذي انفصلت هذه الكسرة عنه. أم أنه لا بدّ،

حسب الأسطورة، من إيجاد جُعَل كاليبوغون ريليكتوس، الذي رأى أجدادُه الماموثَ، والنمرَ الذي تشبه أنيابه السيف. إنه يعيش على سطح الأرض منذ زمن موغل في القدم يصل إلى عشرات ملايين السنين، وأحياناً يجدونه قرب مناجم الكاستيريت، حيث يتشبَّع درعه القشري (الكيتيني) بالقصدير. ولكن ما العمل إذا لم نجد هذا الجعل الذي تتحدث عنه الأسطورة؟

إن العثور على فلزّ الكاستيريت الحاوي على القصدير أمر في غاية الصعوبة حتى على الجيوفيزيائيين أنفسهم. فهو ناقل رديء للتيّار الكهربائي المستمرّ، وضعيف المغناطيسية، وهو لا يختلف من حيث خواصّه الفيزيائية المعروفة عن المركَّبات الموجودة معه في الفلزّ الخام.

عام ١٩٦٧م تأكَّد الجيوفيزيائيون من أنَّ للكاستيريت مقاومته النوعيّة الخاصّة به. فهي تتغيَّر بتغيُّر تردُّد التيّار المشكِّل للحقل الكهربائي. فإذا ما قسنا المقاومة النوعيّة له على الترددات ٠,١ و١٠ هرتز (مجال تردُّد منخفض)، فإن المقاومة النوعيّة ستتغيّر بمقدار ٥%، مثلاً من ٣١٥ إلى ٣٠٠ أوم. متر. هذه التغيّرات في المقاومة النوعيّة أُطلقَ عليها اسم التشتيت الترددي، وهذا التشتيت مبعثه الخصائص الفيزيائية والكيميائية المعقَّدة للكاستيريت. إن هذه الخاصّية تشكّل أساس طرائق التنقيب عن الخامات الحاوية للكاستيريت. عند العمل بهذه الطريقة يمررون في الأرض تيّاراً كهربائياً متناوباً بتردُّدات مختلفة. فإذا ما كانت في الأرض خامات تحتوي على القصدير فإن قراءات جهاز القياس ستختلف باختلاف الترددات. جُرِّبت هذه الطريقة على السواحل، وأُطلِقَ عليها طريقة الاستقطاب الاصطناعي بالتيّار المتناوب، واستعملت لاحقاً في مناجم أخرى.

أما فيما يخصّ الجُعَل فهو طبعاً لا يستطيع منافسة الجهاز الحديث. إلا أنه ينبغي علينا هنا التفكير بما يسمّى الكهرباء الحيوية – فربما كانت لدى الجعلان، أو النباتات «أجهزتها» البيولوجية الخاصّة للبحث عن القصدير؟

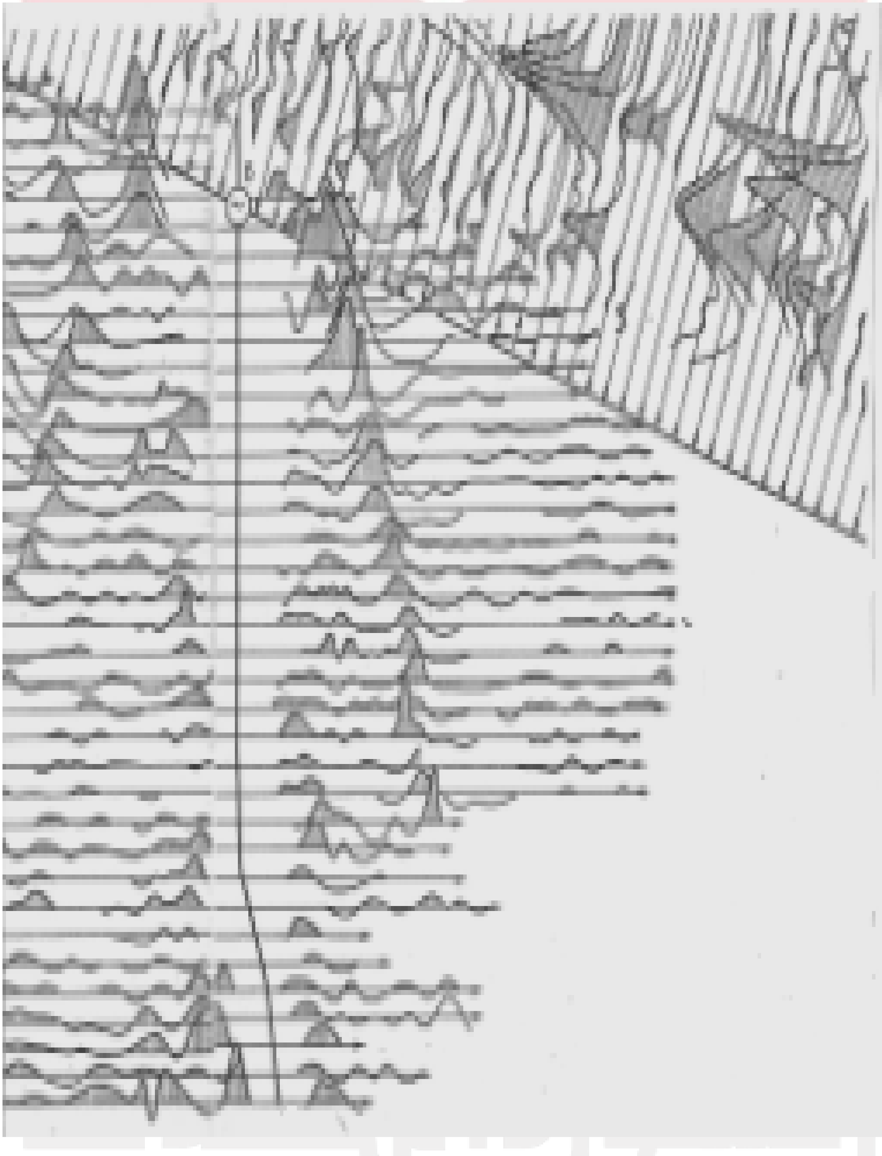
يمكننا اصطحاب أجهزة الاستكشاف الكهربائي والطيران على متن طائرة عادية، أو مروحية مرتفعين في الهواء. ومساحة روسيا الشاسعة، وهي تزيد

عن ١٧ مليون كم[٢]، تعطيك إحساساً عظيماً عندما تطير ساعات طويلة على متن طائرات الركاب الحديثة بسرعاتها المتراوحة ما بين ٨٠٠ و ٩٠٠ كم/سا. في حين تبدو الأرض في الأسفل مكلَّلة بطبقة رقيقة من الدخان المائل إلى الزرقة، بغاباتها ومستنقعاتها، صحاريها وجبالها، وشعابها بما تخبئه من كنوز الأعماق. هنا بالضبط تهرع طرق الجيوفيزياء للمساعدة مستخدمة الطيران.

في ثلاثينيات القرن الماضي رُكِّبت على متون الطائرات أجهزة استقبال بدأت التقاط الموجات الكهرطيسية للاتصالات الراديوية. بعد ذلك بدأ تنصيب أجهزة لدراسة المواضيع الجيولوجية البحتة، كأجهزة التصوير من الجو وأجهزة قياس المغناطيسية من الجو أيضاً. كما بدأ استخدام الطائرات المروحية بالإضافة إلى الطائرات العادية لتنصيب الأجهزة الجيوفيزيائية. وهذا ما تطلبه النمو الصناعي الذي بدأ في ذلك الزمان شاملاً للفضاءات الروسية الهائلة. وهنا أيضاً هرع الاستكشاف الكهربائي من الجو لمساعدة الجيولوجيين، وهذا الاستكشاف يسمح في وقت قصير جداً بدراسة مساحات كبيرة، وغالباً ما تكون في مناطق يتعذَّر الوصول إليها.

تعدُّ طريقة الكابل الطويل إحدى طرق الاستكشاف الكهربائي من الجو، ويتلخّص مبدؤها بمدِّ كابل كهربائي بطول ما بين ٢٠–٣٠كم. ويتمُّ تأريض نهايتيه (وصلهما بالأرض بوساطة ناقل معدني للكهرباء). ويمرَّر بوساطة محطة كهربائية متحركة تيّار كهربائي في الدارة المغلقة، فيظهر حول الكابل حقل كهرمغناطيسي قوي جداً، وتنتشر في الوسط المتجانس أمواج كهرطيسية منتظمة على عمق كبير جداً. لكن إذا ما وُجدتْ في القرب أجسام فلزّية فإن كلّ الأمواج الكهرطيسية ستتجمع متركِّزة فيها. ولكن كيف سنرى بالعين المجرّدة انتشار الأمواج الكهرطيسية، ناهيك عن أنها آتية من أعماق سحيقة؟ هنا سيساعدنا علم الإلكترونيات. ترتفع الطائرة المروحية إلى الأعلى حاملة معها مجموعة من أجهزة القياس، وتحلِّق حول المساحة المدروسة باتجاه يتعامد مع الكابل الممدود

منفِّذة طيرانات متوازية فيما بينها: إلى الأمام، استدارة، إلى الخلف. ولتكن المسافة الفاصلة بين كل شوطي طيران متتاليين مثلاً ٢٠٠ متر.



(الشكل ٣)

منحنيات صورة الاستكشاف الكهربائي الجوي بطريقة الكابل الطويل.

تتمُّ دراسة انتشار الحقل الكهرطيسي في المساحة المعنية بمساعدة الأجهزة المذكورة. وبدقَّة أكثر، تُدرس المكوِّنة المغناطيسية على شريط منحنيات بيانية. إن المنحنيات التي يتمُّ الحصول عليها نتيجة لجميع أشواط الطيران تدلّ على القيم الشاذّة في الحقل الكهرطيسي وتقارنها وتنقلها إلى الخارطة. وتشير نقاط القمم على المنحني (٣) إلى الانحرافات العشوائية لخطوط الحقل المغناطيسي وفي هذا إشارة إلى وجود فلزّات من صخور المعادن. لا بدّ من الإشارة إلى أن عملية الاستكشاف الكهربائي من الجو بكل ما فيها من أجهزة، ونظريات وطرائق عمل هي مسألة معقَّدة جداً، إلا أن علماء العهد السوفييتي السابق، وكان عهداً ذهبياً فيما خصَّ التطور العلمي، قاموا بحلها على أكمل وجه. وشارك في إتمام هذه المهمة اختصاصيون في حسابات الحقول الكهرطيسية، والراديوفيزياء، والجيوفيزياء، والجيولوجيا. وقد نُفِّذ أول طيران استكشافي من الجو عام ١٩٥٧م. من القرن الماضي في الاتحاد السوفييتي السابق.

إن المعطيات التي يتمُّ الحصول عليها بهذه الطريقة تدلّ الجيولوجيين على أفضل أماكن حفر الآبار للوصول إلى الثروات الباطنية. كما أن طريقة الاستكشاف الكهروجوي للمناطق التي يصعب الوصول إليها كالأدغال السيبيرية، مثلاً تعتبر أكثر فاعلية بكثير من طرق الاستكشاف الأرضي. فمثلاً تستغرق دراسة مساحة بحدود ١٠٠كم^{٢} في ظروف التايغا الصعبة من فريق من الجيوفيزيائيين يسيرون على الأقدام وقتاً يصل إلى عدَّة شهور. بينما لن يحتاج المستكشفون الكهروجويون لدراسة مساحة تبلغ ١٠٠٠كم^{٢} أكثر من ٢–٣ أسابيع. ويمكن تصوّر المساحة التي يمكن تصويرها من على متن طائرة سمتية في ظروف ملائمة للطيران.

إن طريقة الكابل الطويل من أفضل الطرق إعطاءً للتفاصيل، فمع سرعة ليست كبيرة للطائرة السمتية أو المروحية (١٠٠كم/سا) وارتفاع حتى ١٠٠متر عن سطح الأرض يمكن الحصول على نتائج لا تختلف بشيء من حيث الدقَّة والصدق عن نتائج الطريقة الكهربائية الأرضية لدراسة المقاطع

بالتيّار المستمر. كل طبقات الفلزّات، التي تتمَّايز بمقاومتها النوعيّة، يمكن تثبيتها على شكل منحنيات. يتلقى الجيولوجيون الأوامر، والمستلزمات المادية لرسم وإنشاء الخريطة الجيولوجية لكل المساحة المدروسة، بما يمكن أن تحويه من مستنقعات، أو صخور لا يسهل على الإنسان الوصول إليها، ولكن الطائرة المروحية تحلق فوقها دونما صعوبة. إضافة إلى أن مدَّ الكابل الكهربائي في ظروف التايغا يشكل أحياناً مسألة معقَّدة، ما يفاقم صعوبات استخدام هذه الطريقة، ويجعل تنفيذها متعذراً.

إن طريقة المقاطع الكهرطيسية المزدوجة لا تستلزم إجراء أي تأريض، ما يجعل استخدامها أسهل في الاستكشاف الكهرجوي. وعندما تجري الأعمال على متن طائرة واحدة يتمُّ تتصيب جهازين، الأول لإرسال الموجات الكهرطيسية والثاني لاستقبالها – حلقتين للإرسال والاستقبال – تطير الطائرة بشكل جانبي بينما تقوم الأجهزة بتسجيل انتشار الحقل. ويزيد استخدامنا لطائرتين من سرعة دراسة مناطق المستنقعات والغابات والمناطق المتجمدة.

«علمتنا الطائرة أن نتحرك حركة مستقيمة. وحالما نرتفع فوق سطح الأرض نغادر الطريق التي تدور حول البرك، والحظائر، أو تتلوَّى متعرِّجة بين مدينة وأخرى. واعتباراً من الآن نحن تحرَّرنا من العبودية الناعمة، ولن نرتبط بعد الآن بالمنابع، وسنتوجَّه باهتماماتنا إلى الأهداف القصية». هذا ما كتبه أنطوان دي سانت إكزوبيري[1] في كتابه «أرض البشر». ونحن نجزم أن صورة الاستكشاف الكهرجوي هي واحد من أمثلة هذه الأهداف القصية.

---

(١) Saint-exupery (١٩٠٠-١٩٤٤) كاتب وطيار فرنسي، يعد من كبار الكتاب العالميين، ترجمت أعماله الإنسانية التي أشاد فيها بالأمانة والشرف والشجاعة وبروابط التضامن بين الناس إلى مختلف لغات العالم. لعل أشهر أعماله «أرض البشر» و«الطيران الليلي» و«الأمير الصغير». ولد في مدينة ليون الفرنسية من عائلة عريقة الأصل لكنها فقيرة، فتولت جدته رعاية أسرته. ولم يكمل انطوان دراسته في الأكاديمية المعمارية لأنه بعد أن أمضى سنة فيها التحق بكلية الطيران وأصبح طياراً. وسقطت طائرته أثناء الحرب العالمية الثانية قرب مدينة ليون حيث قضى نحبه. (المترجم)

إن الإنسان لم يقف عند اختراع الطائرة، فقد جاء بعدها القمر الصناعي الذي يحمل تجهيزات مختلفة، وتوصَّل الخبراء اليوم إلى ما نسمّيه الاستكشاف الفضائي من الأقمار الصناعية. كما أن هوائيات خاصّة مركَّبة على السفن الفضائية تساعد في دراسة المقاومة النوعيّة للكرة الأرضية من الفضاء الخارجي، وذلك لإنشاء خارطة الخصائص الكهربائية لكوكب الأرض كاملاً وليس لأجزاء محدّدة منه.

إن الاستكشاف الكهربائي يطال الأعماق السحيقة، وتعدُّ شبه جزيرة كولا في أقصى الشمال الروسي، بحق، منطقة اختبارات شاسعة، أو، ببساطة، حقل اختبار صحّة الفرضيات عن بنية أعماق الكرة الأرضية. ولعل من أهمّ ألغاز أعماق الأرض، وما يثير اهتماماً كبيراً جداً لدى العلماء، هو خواصّ الفلزّات الواقعة على أعماق تصل إلى عشرات الكيلومترات، وناقليتها الجيدة للكهرباء.

بدأ الاهتمام بالتشكيلات الجيولوجية الناقلة للكهرباء مبكِّراً، فقد بدأ سيميونوف عام ١٩٦٨م. دراسة هذا الموضوع في شبه جزيرة كولا، حيث الفلزّات الغنية جداً بالفحم والفلزّات الحاوية على السولفيدات، والتي يترافق وجودها مع فحم الغرافيت الغني بالأحجار البلّورية (الغنيس)، والطين الصفحي. وقد نجح في تعقُّب شكل محيطي لطبقة غير عادية واكتشاف زخارف رقيقة من القنوات الناقلة للتيّار الكهربائي تتخلَّل الفلزّات. وتبيَّن فيما بعد أن هذه الزخارف تحدّد طبيعة انتشار الحقل الكهرطيسي في الأساس الكريستالي لقشرة الكرة الأرضية. إن الخاصّية التي سُجِّلت حتى الآن عن ناقلية الكرة الأرضية للكهرباء ظهرت بجلاء تامّ نتيجة استشعار على عمق كبير جداً باستخدام مصدر قوي جداً يقوم على استعمال أثر مغنطيسي هيدروديناميكي فعّال. وكان ڤيلخوف، وهو نائب رئيس الأكاديمية السوڤييتية للعلوم سابقاً، قد عمل مع فريق من العلماء لإنتاج المولِّد المغنطيسي الهيدروديناميكي الحديث. وتقع طبقة الفلزّات ذات المقاومة النوعيّة المنخفضة على عمق يتراوح ما بين (٦٠–٧٠) كم. وقد تمَّ تحديد مكانها نتيجة الاستشعار العميق جداً.

يمكن استخدام معطيات الاستشعار للحصول على معلومات عن الجيولوجيا والانتشار العشوائي للفلزّات غير المتاحة للرؤية المباشرة، وعن تاريخ تشكُّل هذه الفلزّات. وما زالت هناك أسئلة كثيرة لم تتمّ الإجابة عنها، وينتظرنا عمل الكثير كيما نحصل على أجوبة مقنعة لها، وهذه الأجوبة ستحمل معها مسائل جديدة تنتظر الحل.

إن الألغاز مازالت تكتنف عالم الحقل الكهرطيسي للكرة الأرضية، ومصادره واقعة في الأرض ذاتها، وبالتحديد في طبقة الأيونوسفير، وما زالت الخواصّ الكهربائية للكرة الأرضية تنتظر إكمال البحث والدرس.

يتيح الاستكشاف الكهربائي إمكانية انتقاء الخصائص المدروسة لحقل كهرومغنطيسي بحيث يمكن إيضاح قضايا جيولوجية متنوعة وخاصّة منها ما يتطلَّب استيضاحه خواصّ فيزيائية مختلفة. وهذا ما يبرر إعطاءه دور «الملك» – الأعماق الكبيرة والصغيرة، وطبقات الصخور والفلزّات، التي يميّز بعضها عن بعض ليس فقط المقاومة النوعيّة، وإنما نفوذيّتها العازلة (مثل عروق الكوارتز)، وخواصّها الكهروكيميائية، كلّ هذا يخضع للاستكشاف الكهربائي.

أوردنا هنا أمثلة محدّدة عن استخدام الاستكشاف الكهربائي . وسنعود إليه لاحقاً عندما سنتحدّث عن مواضيع أخرى كالآثار، والبحث عن الماء ودراسة الخواصّ الفيزيائية للفلزّات الصخرية. وقد استعرضنا في فصل «المكامن المعدنية تصدر الرنين» الطريقة التي يلتقي فيها المسحان الاهتزازي (وقد يسمّى زلزالياً) والكهربائي. وهي طريقة تعتمد على خواصّ الفلزّات من حيث الضغط والكهرباء (الخواصّ الكهرضغطية).

(٤)

كوكبنا الأرضي خاضع لتنصت الجيولوجيين دائماً



- الزلزال – نافذة نطل منها على الأعماق.
- المقاومة الكهربائية النوعيّة لمواد الأعماق تتغيَّر، وطالما استبعدنا ذلك.
- العواصف مصادر هائلة للطاقة، لكن ما هي طبيعة هذا المصدر كهربائية أم مغناطيسية ؟
- كلنا نستطيع المشاركة في مراقبة الطبيعة الجامدة.

في رواية ألكسي ن. تولستوي «جهاز المهندس غارين المسمّى السطح الزائد[1]» (الغيبربولويد) كتب مهندس التعدين مانتسيف، وهو أحد أبطال الرواية:

«... في الوقت الحاضر... تشكِّل الكرة الأرضية الصورة التالية: يتألَّف الغطاء العلوي من الغرانيت والديوريت المتبرِّدين بسماكة تتراوح بين ٥ و ٢٥كم. وهذه القشرة مغطاة من الخارج برواسب بحرية وطبقات من النباتات الميتة (الفحم) والحيوانات الميتة (النفط). هذه القشرة تتوضَّع على الطبقة الثانية للكرة الأرضية التي تشكِّلها المعادن المنصهرة، والتي تسمّيها الأساطير القديمة الحزام الذهبي للأرض. إن هذا الوصف أخذ بعين الاعتبار المعطيات العلمية لذلك الزمان الذي تمَّت كتابته فيه. ونحن اليوم نعرف عن كوكبنا الأرضي أكثر مما كنا نعرف بالأمس، لكن ما تزال هناك أسئلة كثيرة.

إن كرتنا الأرضية، التي تبدو من الفضاء الخارجي في غاية الجمال، هي في الواقع تشبه البصلة إلى حدٍّ كبير جداً، بطبقاتها المتعددة: الأتموسفير، الهيدروسفير، والليتوسفير، أو القشرة الأرضية، والطبقة الفاصلة أو الرداء، وأخيراً نواة الأرض. يتقصَّى الناس طبقة الأتموسفير، وهي الواقعة بين مستوى سطح الأرض وارتفاع ١٠٠ كم. بإطلاق الكرات الهوائية والصواريخ؛ ويتقصُّون طبقة الهيدروسفير بأن يجوبوا المحيطات على ظهور السفن أو يغوصوا في أعماقها في تجهيزات خاصّة واصلين حتى قيعانها؛ أما تقصِّي طبقة الليتوسفير فيتمُّ أساساً عن طريق الحفر. وتُعدُّ البئر التي تمَّ حفرها في شبه جزيرة كولا في أقصى الشمال الروسي

(١) السطح الزائد «الغيبربولويد»: هو بالأصل تعبير رياضي عن سطح ناتج عن دوران القطع الزائد حول أحد محاوره، أو السطح الناتج عن السطح السابق بطريقة السحب نسبة إلى المستوي المار من محور الدوران. (المترجم)

والبالغ عمقها ١٢ كم. أعمق بئر تمَّ حفرها في القرن العشرين الماضي. في حين يبلغ نصف قطر الأرض ٦٣٥٦ كم. ومع أن هذا كان إنجازاً علمياً كبيراً جداً، وقد أعطى معلومات قيِّمة، إلا أن الأمر مازال يحتاج إلى عمل الكثير لاستكمال اكتشاف بنية طبقات الأرض. وكل التصوّرات عن الطبقات الأعمق يمكن الحصول عليها، عملياً، فقط عن طريق المعطيات الجيوفيزيائية.

إن دراسة بنية الأرض تتمُّ باستخدام محطات جيوفيزيائية خاصّة أُقيمت على جزر ضئيلة فيما وراء الدائرة القطبية، في السهول والجبال، وفي الصحاري الثلجية ومناطق الزلازل، أو حيث يتلألأ الشفق القطبي. وبكلمة أخرى، في كل مكان. وتحتوي هذه المحطات على أجهزة حساسة ومتقدمة جداً، محميّة من تفاوت درجات الحرارة أو تأثيرات الضوء، أو سائر اهتزازات القشرة الأرضية وهي محكمة الإغلاق بوساطة مختلف الصنابير والقلانس، وهي تشغل مباني خاصّة وتقوم على منصات أُنشئت خصّيصاً لها. وهنا تُراعى متطلَّبات نوعيّة خاصّة من أجل القيام بالمراقبة الدقيقة.

يعيش الجيوفيزيائيون الذين يعملون في هذه المحطات في ظروف مناخية معقَّدة، في تجمعات صغيرة، ويجمعون هناك المعلومات عن العمليات الفيزيائية التي تجري على كوكبنا الأرضي. وهكذا سيتعرَّف الناس على بنية الكرة الأرضية، وستبذل ، دون ذلك،الجهود الجبارة.

تعود مواجهة الإنسان للزلازل إلى الأزمنة السحيقة. يبدو سطح الأرض لنا ثابتاً وغير متحرِّك. لكنه في الواقع في حالة اهتزاز دائم. وبعض اهتزازاته ضعيف لا يحسُّ به الإنسان، ولا يمكن رصده إلا عن طريق أجهزة ذات حساسية فائقة. والبعض الآخر من هذه الاهتزازات قوي لدرجة أن الإنسان لا يحسُّ بها وغالباً ما يسمع الهدير.

في الطبيعة المتألِّمة
تحدث غالباً تخمُّرات غريبة
وشدَّ ما تؤلم التشنجات الأرض
وهي التي يمتلئ جوفها بتيّارات هواء مغلقة
تتوق إلى الحرية
وتهزُّ جدتنا الأرض بعنف
يحطم القصور، والقلاع المحصنة
وأبراج أجراس الكنائس.
هذا ما كتبه وليم شكسبير(١) في رائعته «هنري الرابع».

تنتشر هذه الاهتزازات في جميع الجهات منطلقة من مصدرها تحت الأرض، بؤر الاهتزازات هذه تشبه الأمواج في الماء. لكن ما يتحرك هنا هو أجزاء الصخور بدلاً من الماء. وتكون هذه الاهتزازات قويّة أحياناً لدرجة أنها تتجاوز الإحساس البشري بها وتؤدي إلى هدم كل ما على سطح الأرض. تسمّى اهتزازات سطح الأرض تحت تأثير قوى الطبيعة زلازل. وعند حدوث زلازل قويّة تجتاح الاهتزازات المرنة للقشرة الأرضية مناطق واسعة. وتظهر حول بؤرة الزلازل شقوق في الأرض وتنهار المنشآت.

إن بنية الحيوانات تتيح الإحساس بالتغيرات التي تطرأ على مجال الاهتزازات المرنة وما يرافقها من عمليات لزمن طويل، وحتى بداية الهزّة

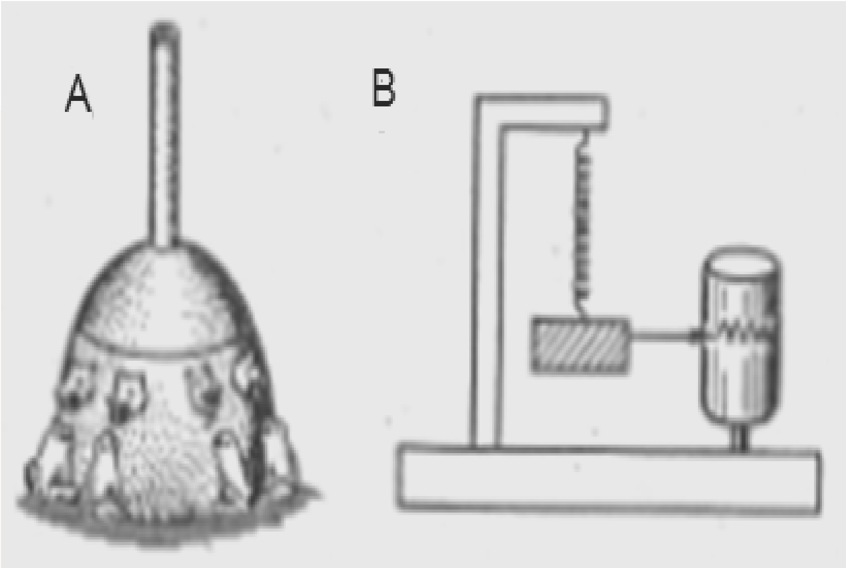
---

(١) **وليم شكسبير** Shakespeare (١٥٦٤ – ١٦١٦): شاعر مسرحي إنكليزي في مصاف رجال الأدب العالمي. امتاز بتحليله عواطف القلب البشري من حب وبغض. من مسرحياته: «هملت»، «عطيل»، «مكبث»، «روميو وجولييت»، «تاجر البندقية»، «العاصفة»، «يوليوس قيصر». ترجم خليل مطران بعضاً منها إلى العربية شعراً. (المترجم)

الأرضية. وبالتالي يتيح لها مغادرة منطقة الخطر. وقد توصَّل الإنسان في الأزمنة الموغلة في القدم إلى اختراع أجهزة خاصّة ترصد الزلازل، وتساعد في تسجيل اهتزازات الأرض، ومراقبة الزلازل من مناطق بعيدة نسبياً عن مكان حدوثها.

طرح أسلافنا القدامى تفاسير متنوعة جداً لأسباب حدوث الزلازل، إلا أنها لم تكن تطابق الحقيقة. تروي الأساطير اليابانية أن الحيتان تحمل الأرض، وعندما تتحرَّك هذه الحيتان تهتزُّ الأرض. وكان الكهنة البوذيون يعتقدون بأن ضفدعاً ذهبياً يمسك بالأرض وعندما يتحرَّك الضفدع تهتزُّ الأرض. أما عند قدماء الإغريق فكان بوسيدون إله البحار هو في نفس الوقت إله الزلازل. وكان الاعتقاد السائد أنه يقوم بتوجيه الأمواج البحرية لتهزَّ الأرض. ويظهر أن التخيُّلات المبكرة استُغِلَّت في تصميم الأجهزة القديمة. وقد قال لوكريتسي: «إن الطبيعة تعمل لوحدها دون تدخُّل الآلهة».

تذكر المدوَّنات التاريخية القديمة أن أقدم جهاز قياس زلازل (سيسموسكوب) معروف لنا هو جهاز جان خين الذي أُنشئ في المئة الثانية بعد الميلاد. وكان العنصر الأساس فيه هو مستشعر اهتزاز الأرض. وهو عبارة عن أسطوانة معدنية مصمتة، ترتكز على ثمانية عتلات. عند اهتزاز الأرض تنقلب الأسطوانة ضاغطة على العتلة. تتوضَّع الأسطوانة والعتلات ضمن وعاء معدني، شُكِّلت في جداره الداخلي ثماني كؤوس، تتوزَّع عليه بانتظام، وعلى مسافات متساوية، وفي كلِّ كأس منها توجد كرة معدنية تستند عليها إحدى العتلات الثمانية. عندما تضغط الأسطوانة على العتلة تزيح العتلةُ الكرة المعدنية من الكأس، فتسقط في صحن مجاور للجدار الخارجي للوعاء. صممت الكؤوس الحاوية للكرات المعدنية على شكل رؤوس وحوش برية، والصُّحون على شكل ضفادع. ويتطابق اتجاه سقوط الكرات المعدنية مع اتجاه الزلزال.



(الشكل ٤)

راسمة الزلازل في أزمنة مختلفة .

A - مقياس الزلازل الذي صممه جان خين في بداية العصر الميلادي.

B - راسمة زلازل عمودية ذات كتلة العطالة.

ويأتي مقياس الزلازل (السيسموسكوب Seismskope) الذي ابتكره العالم الإيطالي نيكولو كاسياتوري عام ١٨٤٨م قريباً بفكرته من مقياس جان خين. وأمكن بفضل هذه الأجهزة تحديد الخصائص النوعيّة للزلازل: كاتجاه الزلزال، ولحظة اهتزاز الأرض تحت الجهاز.

لاحقاً طُرحت تصميمات متنوِّعة لهذا النوع من الأجهزة. وهكذا تمَّ اختراع مرسمة الزلازل (السيسموغراف Seismographe) وهو جهاز يسمح، بخلاف السيسموسكوب، ليس فقط بالإحساس بالهزّات، وإنما بتسجيل القيم المختلفة التي تصوِّر عملية اهتزاز الأرض على شريط.

تستعمل كتل العطالة على نطاق واسع في تصاميم مرسمة الزلازل (السيسموغراف). وقد صُمِّمت مرسمة الزلازل التي ترصد الهزّات العمودية للأرض (الشكل ٤ ب) كالآتي:

يُنصب على الأرض هيكل السيسموغراف مع منصب لتعليق كتلة العطالة. عند اهتزاز الأرض يتحرّك هيكل الجهاز إلى الأعلى أو الأسفل بسرعة، ولا تستطيع كتلة العطالة اللحاق بالهيكل في اهتزازاته، وتحافظ على وضعها متحرّكة إلى أعلى أو أسفل بالنسبة للهيكل، ونتيجة لذلك ينفرد نابض التعليق أو ينضغط. فإذا ما رُكِّبت على الوزن المعلَّق ريشة، فإنها سترسم منحنٍ يصوِّر عملية الاهتزاز الزلزالي للأرض. يمكن تسجيل هذا المنحني بسحب شريط تحت الريشة بسرعة ثابتة ومعروفة. حينذاك وعند اهتزاز الثقل إلى أعلى وأسفل ستقوم الريشة برسم المخطَّط الزلزالي، الذي سيبين المطال الأعظمي للاهتزازات وزمن استمرار الزلزال. يسجِّل هذا السيسموغراف الهزَّات الأرضية العمودية. وهناك رواسم زلازل تسجِّل الاهتزازات الأفقية.

عام ١٧٥٧م حلَّل العالم الروسي الكبير م. ف. لومونوسوف مجموعة الظواهر التي تحدث أثناء الزلازل في كتاب أسماه: «كلمة عن ولادة المعادن من اهتزاز الأرض». ويصف لومونوسوف في كتابه هذا الزلزال مشيراً إلى أنه ليس فقط المدن المهدَّمة تشهد على حدوثه، وإنما:

: ... يضجُّ كلُّ وجه الأرض بالشواهد عليه. وكيف لك ألاّ ترى الجبل المنشقَّ؟ وهل يبقى مكان للشكِّ بعد مثل هذه الآثار للهزَّة الأرضية !...»

في بداية القرن العشرين تمَّ وضع أسس علم الزلازل المعاصر على يد الأكاديمي ب.ب. غوليتسين، الذي كتب أنه «... يمكن تشبيه أيَّ زلزال بمصباح إنارة الشارع الذي يعمل للحظة قصيرة مضيئاً باطن الأرض، متيحاً بذلك رؤية ما يحدث هناك ...». كما ابتكر غوليتسين تصاميم جديدة كليَّاً لرواسم الزلازل.

تستطيع رواسم الزلازل الحديثة رصد الاهتزازات الأرضية التي لا يزيد مطالها عن ٠,٠٠٠١مم. أي ٥٠٠/١ من قطر شعرة الإنسان.

عام ١٨٩٧م حدث زلزال هائل في ولاية آسام الهندية بلغ تردُّد اهتزازات الأرض خلاله ٢٠٠هزَّة في الدقيقة، وسرت على وجه الأرض

موجات بلغت سعتها ٠,٣ متر، والمسافة بين قمم هذه الأمواج (الدور، أو طول الموجة الواحدة) ٩ أمتار. وأثناء زلزال في اليابان عام ١٨٩٤م بلغت سعة اهتزازات التربة ١٠سم في الاتجاه العمودي، و٣٥سم في الاتجاه الأفقي.

إن سبب الزلزال هو انزياح كتل كبيرة من القشرة الأرضية من مكانها. ويحدث في باطن الأرض إعادة توزيع للمواد يؤدِّي إلى خللٍ كبير في توازن الطبقات، ما يؤدِّي، بدوره، إلى حركة الكتل الصخرية. وينتج عن هذه الإزاحة في الكتل الصخرية نقاط تبلغ سطح الأرض مؤدِّية إلى حركته. يُطلق على العلم المعني بالزلازل السيسمولوغيا(١).

من المعروف أن مصادر الغالبية العظمى من الزلازل تقع على أعماق ما بين ١ و ٣٠ كم. غير أنه يمكن لبعضها أن تكون على أعماق كبيرة تصل إلى مئات الكيلومترات. وهذه المصادر العميقة جداً لا تزال إلى يومنا هذا تشكِّل لغزاً لم يحلَّه العلم حتى الآن. وهذا يرجع إلى خصائص طبقات الأرض. فطبقة الليتوسفير تعلو طبقة طينية نشأت من انصهار أجزاء من الفلزّات المكوِّنة للصخور. لهذا خُيِّل لنا في البداية أنه لا تتوافر ظروف نشوء مصدر للاهتزازات المرنة – أي مركز زلزال. غير أنه تحت طبقة الليتوسفير(٢)، تحديداً، وعلى

---

(١) **السيسمولوغيا** كلمة يونانية مركبة من Seismos وتعني حركة، زلزال و Logos وتعني مفهوم، فكر، تدبُّر .

(٢) **الليتوسفير** كلمة يونانية مركبة من Lithos وتعني صخر. و Sphaira وتعني كرة. الليتوسفير: القشرة الأرضية. الطبقة العلوية الصلبة من سطح الكرة الأرضية المتوضِّعة على الطبقة المسماة بالرداء (Mantion). وهي طبقة تلي الماغما المنصهرة صعوداً وتغلفها، وتختلف من القارات إلى قيعان البحار والمحيطات. فالقشرة القارية تتألف من غلاف من طبقات غير متصلة وما يتوضَّع تحتها من طبقة غرانيتية ثم تحتها أيضاً طبقة بازلتية. تبلغ السماكة العامة لطبقة الليتوسفير على اليابسة ما بين ٣٥ – ٤٥ كم. وقد تصل في المناطق الجبلية إلى ما بين ٥٠–٧٠ كم. وتبلغ سماكتها تحت المحيطات ٥ – ١٠ كم. وتتألَّف من طبقة رسوبية رقيقة يبلغ سمكها وسطياً ١كم. تتوضَّع تحتها طبقة الخامات الرئيسية كالبازلت والغابرو(خام ماغماتي فقير بالرمل الصوَّاني، لونه عاتم، يستخدم كمادة بناء وإكساء). (المترجم)

عمق يزيد عن ١٠٠ كم تتشكَّل مصادر لزلازل متعدِّدة. وهذا ما يتطلَّب تطوير نظريات توضح هذا التناقض. في حين يبقى السؤال عن كيفية تشكُّل الاهتزازات المرنة في وسط طيني موحل قائماً.

في ليلة الخامس إلى السادس من شهر تشرين /أُكتوبر/ عام ١٩٤٨م شهدت مدينة عشق أباد، عاصمة تركمانستان في آسيا الوسطى زلزالاً عنيفاً. رُصدت أقوى هزَّاته على بعد ٢٥ كم جنوب شرق المدينة. وظهرت على سطح الأرض، نتيجة للزلزال، مجموعة من الصدوع انزاحت على امتدادها كتل من الصخور. وهدَّم الزلزال المدينة بأكملها، باستثناء بعض المباني المقاومة للزلازل. وقبيل زلزال طشقند عاصمة أوزبكستان عام ١٩٧٦م لوحظت ظاهرة كهربائية غريبة. فقد ظهرت إضاءات شبيهة بالشفق القطبي، وظهر على الحيوانات قلق واضح، وشرعت الكلاب تنبح بلا سبب ظاهر.

لا يمكن اعتبار الزلازل ظاهرة نادرة. فقد جمع الجيولوجيان أرلوف وموشكتوف معلومات عن ٢٥٧٤ زلزالاً وقعت خلال الفترة الواقعة ما بين عام ٥٩٦ قبل الميلاد، وعام ١٨٨٨م. وهذا ما يعني وسطياً زلزالاً واحداً كلَّ عام تقريباً. وهذه الحسابات غير دقيقة، لأننا لا نملك المعلومات الكافية عن الزلازل التي حدثت في أزمان بعيدة جداً. وتظهر دراسة أكثر دقَّة للزلازل في التاريخ المدوَّن أنه في القوقاز وحده حدث نحو ٣٠٠٠ زلزالٍ. لهذا من المهم أن نحسن التنبؤ بالزلازل العنيفة فقط. وهنا تقدِّم المحطات الجيوفيزيائية مساعدة كبيرة. أنشئت في آسيا الوسطى في العهد السوفييتي حقول تجارب لاستقصاء نذر الزلازل. وأكبر هذه الحقول يقع بالقرب من مدن ألما آتا (عاصمة كازاخستان سابقاً) ودوشانبيه (عاصمة جمهورية طاجيكستان). يقع حقل ألما آتا الجيوفيزيائي في منطقة قريبة من الجبال ونشطة زلزالياً، على امتداد ٢٠٠ كم طولاً و١٠٠ كم عرضاً. ومساحة هذا

الحقل تعادل مساحة منطقة الزلزال القوي. وتتوزَّع على امتدادها بضعة محطات زلزالية. وهنا تُنفَّذ مجموعة معقَّدة من الأعمال: المراقبة الزلزالية، وبحوث الآبار العميقة، والصور الجوية المغناطيسية، والاستشعار الكهربائي، والمراقبة الأحفورية، والمغناطيسية، ودراسة الخصائص الفيزيائية للصخور، وتقصّي التركيب الكيميائي للمياه، ومحتوى الرادونيوم R_n[١]، والفلور والهليوم فيها. إن دراسة الخصائص الكيميائية والفيزيائية المتنوعة تمكِّن من التنبؤ بالزلازل. كما أن الشذوذات التي تُرى على المنحنيات الكهربائية أو المغناطيسية أو غيرها، والقفزة في تركيز الرادونيوم، والتغيُّر في شدَّة المجال المغناطيسي للأرض و... الخ. كلٌّ هذا يعطي معلومات عن التغيُّرات الحاصلة في بنية الكتل الأرضية وانزياحاتها، وعن التغيُّرات المرتبطة بهذه العمليات العميقة في خصائص الصخور، والمياه، والغازات. وكلٌّ هذا يُستفاد منه في أثناء التنبؤ بالزلازل.

في الأزمنة الغابرة كان الناس يعتبرون أن سبب ما يرونه من زلازل وكوارث هو حركة التنانين والحيتان والمردة التي تمسك بالأرض. أما اليوم فيرون أن الإنسان يصبح، أحياناً، هو هذا «المارد». فهو، مثلاً، عندما ينشئ السدود أو المدن يقوم بقلب كتل هائلة من الصخور والأتربة، وهذا النشاط الآدمي يمكن قرنه، في كثير من الحالات، مع نتائج ظواهر جيولوجية. كما أنه في حال التنقيب عن أملاح البوتاسيوم أو المياه الجوفية تظهر تجاويف جوفية كبيرة، وهنا تبدو خطورة نفاذ سطح التربة نتيجة ظهور شقوق هائلة عليها. وفي مثل هذه الحالات تظهر أهمية المراقبة الدورية المستمرَّة لتلافي الظواهر غير المرغوبة التي يمكن أن يسببها التدخل الكبير، والتأثير الفعَّال، والمؤذي من قبل الإنسان في نواميس الطبيعة الحيَّة.

---

(١) الرادونيوم عنصرٌ كيمياوي مشعٌّ من زمرة الغازات الخاملة. يستخدم في الأبحاث العلمية والطب «أحواض الرادونيوم». (المترجم)

في جبال بامير[1] تقع مدينة غارم التي أُنشئ فيها حقل تجريب متخصِّص بالتنبؤ بالزلازل. ويتمُّ في هذا الحقل، سنة بعد أخرى، سبر كهربائي أي دراسة المقاومة الكهربائية النوعيّة للسماكات العميقة للأرض. يستخلص من المراقبة الدقيقة ناموس طبيعي يقول إنَّ المقاومة الكهربائية النوعيّة للصخور والفلزّات تتغيَّر قبيل الهزَّة الأرضية. وقد اكتشف هذا الناموس الجيوفيزيائي بارسوكوف. وسجَّله باسمه كابتكار في عام ١٩٧٥م. وهو قانون يمكن على أساسه التنبؤ ببداية الزلازل.

تجدر الملاحظة أن بالإمكان اليوم بالاستعانة بالمراقبة الجيوفيزيائية في حقول التجريب التنبؤ ببداية ثورة البراكين. تعبر عملية التحضير للثوران عن نفسها بتغيرات في خصائص الحقول الفيزيائية المراقبة. وبمساعدة الجيوفيزياء أمكن التنبؤ ببداية ثوران بركان تولبانين في شبه جزيرة كامتشاتكا في أقصى الشمال الشرقي لروسيا الاتحادية.

تتمتَّع المراقبة الجيوفيزيائية بأهمية عسكرية. فأثناء التفجير النووي تحت الماء على جزيرة بيكيني المرجانية في أهوار المالديف جنوب الأرجنتين عام ١٩٤٧م. أمكن تسجيل الصوت المنتشر تحت الماء بأجهزة صوتية معدَّة خصِّيصاً للعمل في أعماق البحار والمحيطات. وتمَّ ذلك في جزيرة برمودا[2] في المحيط الأطلسي، الواقعة على بعد ٢٠ ألف كم. قطعها الصوت في غضون ٤ ساعات.

---

(١) جبال في أقصى الجنوب الشرقي في طاجيكستان. على الحدود مع أفغانستان. (المترجم)

(٢) Bermuda: أرخبيل بريطاني في المحيط الأطلسي شمال شرقي الأنتيل، مساحته ٥٤ كم٢، ويسكنها ٧٠٠٠٠ نسمة. عاصمته هاملتون. وهي مجموعة جزر بركانية معتدلة المناخ، وتعتبر من أشهر المنتجعات السياحية في العالم. وتقوم على أراضيها قاعدة حربية أمريكية كبيرة. وهي في نفس الوقت مركز مجموعة كبيرة من الشركات التجارية العالمية. تتمتع بحكم ذاتي منذ عام ١٩٦٨م. (المترجم)

يمكن رصد الانفجار النووي في الغلاف الجوي بسهولة، أما الانفجار تحت الأرض فهو عملية أكثر تعقيداً. إذ يُصرف قسم ملحوظ من طاقة التفجير النووي تحت الأرض لتشكيل أمواج مرنة في الأرض. وتتشابه تسجيلات الأمواج المرنة الناتجة عن الزلازل مع تلك الناجمة عن التفجير النووي تحت الأرض. ولإبراز الانفجار النووي لا بدّ من تقنية التقاط خاصّة.

في ثلاثينيات القرن الماضي قامت مجموعة من العلماء السوفييت بعدَّة تجارب كان القصد منها رصد وتسجيل الانفجارات الهائلة التي نُفِّذت بغرض دراسة بنية القشرة الأرضية. كان على رأس هذه المجموعة الأكاديمي م.أ. سادوفسكي، أحد واضعي أسس فيزياء الانفجارات. حدَّد سادوفسكي درجة الخطورة والآثار الناجمة عن الانفجارات وتأثيرها على المنشآت المختلفة. وتأثُّر هذه المنشآت بالاهتزازات الناجمة عن الانفجارات، ودرس الخصائص المتعلِّقة بالطاقة والسرعات وخصوصيات انتشار هذه الاهتزازات.

يجمع دارسو الزلازل المعلومات التي يدلي بها أشخاص رأوا الزلازل بأم أعينهم. لأن عدد محطات رصد الزلازل محدود، وأيّة ملاحظات يبديها هؤلاء يمكن إضافتها إلى المعطيات التي حصل الاختصاصيون عليها.

إبان الزلزال الذي هزَّ رومانيا عام ١٩٧٩م انتشرت الأمواج المرنة إلى مسافات بعيدة جداً، بحيث تأثَّرت عدة مدن روسية داخلية بهذه الأمواج كموسكو ولينينغراد (سان بطرسبورغ). ولاحظ الكثيرون تأرجح القناديل المعلَّقة وميل الجدران، وسمعوا أصوات ارتطام الأواني في المطابخ... كم هي ممتعة هذه الملاحظات في وصف الزلازل. ويفضَّل تسجيل زمن حدوث الزلزال (العام والشهر واليوم والساعة والدقيقة)؛ وأين لوحظ (البلد والمحافظة والمنطقة والقرية). وفي أثناء تفصيل مجرياته (الدويُّ تحت الأرض، رجفان الأرض واهتزازها) يجب تثبيت ما إذا كان هناك صدوع، أو شقوق، أو

انهيارات في التربة، أو شقوق في جدران المباني، أو تهدُّمها. وفي داخل البنايات يجب ذكر ارتطام الأواني الزجاجية، وتأرجح مصابيح الإنارة، وسقوط قطع الأثاث إلخ.

نتحدث أيضاً عن المصدر المعقَّد للحقل الكهرمغناطيسي. فالجيوفيزيائيون يدرسون الظواهر الرعدية. ودائماً ما تجذب البروق اهتماماتهم. إن الحقول الكهرمغناطيسية للبروق تشكِّل أساساً لمجموعة من طرق الاستكشاف الكهربائي. وهي التي لا تحتاج إلى مدخرات، أو مصادر للتيّار الكهربائي الذي يسري في الأرض.

راقب البروفسور سيميونوف البروق أثناء العواصف الرعدية عندما كان المطر ينهمر مدراراً، وخيوط من الشحنات الكهربائية تنسحب على امتداد صفحة السماء راسمة عليها زخارف رائعة. يذكر سيميونوف، وهو يورد هذا الوصف، أنه رأى بروقاً تختلف في الشدَّة والإشارة ناجمة عن تفريغات[١] الشحنات الكهربائية بين الغيوم والأرض. «كل شكل من البروق يترافق مع دفقة تيّار خاصّة به. فتلاحظ الدفقات الأكثر شدَّة مع البروق العمودية (التفريغ مع الأرض) بينما تترافق البروق الأفقية مع دفقات أقلّ شدَّة بشكل ملحوظ (التفريغ مع أطراف الغيوم)». اقتباس من كتاب أ. س. سيميونوف «الاستكشاف الكهربائي بطريقة الحقل الكهربائي الطبيعي» الصادر في موسكو عام ١٩٨٠م.

إن المراقبة اللاحقة وتحليل المعطيات الكثيرة تظهر أن هذين المصدرين يؤثران سويّة في وقت واحد وليس بالتتالي. وبدا أن هذه الحقيقة

---

(١) **التفريغ**: هو صدور شرارة كهربائية بين جسمين كهربائيين (ناقلين للكهرباء) قريبين من بعضهما أحدهما مشحون بشحنة كهربائية عالية تتسبب بصدور شرارة تقفز إلى الآخر فيفرغ بهذا جزءاً من شحنته. (المترجم)

تتمتَّع بأهميّة كافية. وهكذا، تقريباً، تمَّ إيجاد نوع جديد من المصادر يتألَّف من حقلين يؤثران معاً، وفي وقت واحد. أحدهما كهربائي والثاني مغناطيسي. وتبيَّن أن هذا المصدر موجود في الطبيعة الحيَّة والميتة سواء بسواء. إلا أنه تجب معرفة كيفية إيجاده في كل حالة بعينها. وقد اكتشف أحد المؤلفين مع مجموعة من زملائه مصدراً معقَّداً للطاقة الكهرطيسية في تفريغات العواصف الرعدية. لكن هذا أمر لم يبلغ نهايته بعد. فالعلماء الذين بدؤوا بدراسة الشحنات الكهربائية، التي تتشكَّل في أعماق الأرض، صادفوا هناك مصدراً معقَّداً للحقل الكهرمغناطيسي.

مازال هناك لغز آخر أمام الجيوفيزياء. إنه البروق الكروية. فما زال البحث في طبيعتها جارياً بالاستعانة بروايات شهود العيان. فقد روى أناس مختلفون باختصاصاتهم العلمية كيف أنهم رأوها صدفة. وينبغي على الناس الذين يرون البروق الكروية أن يعطوا أوصافاً دقيقة لما يرون. فما كتب عنها مليءٌ بمعلومات عن تجلِّيات مختلفة لها. ففي شهر آب من عام ١٩٧٦م وأثناء عاصفة رعدية في مدينة لينينغراد (سان بطرسبورغ) سقطت على جزيرة ڤاسيلي الشهيرة كرة حمراء ملتهبة يبلغ قطرها حوالي ٥٠ سم من الغيمة على الجسر. تدحرجت الكرة قافزة في الطريق. استمرَّ ذلك ما بين ٥ إلى ٦ ثوان اختفت بعدها الكرة تاركة اصطفاقاً خفيفاً.

ربما لا يوفَّق كل العلماء الذين يدرسون لغز الطبيعة هذا إلى رؤية البرق الكروي. ولهذا نجد الباحثين مهتمِّين ليس فقط بما يكتب الاختصاصيون، وإنما برواية كل من أتاحت له الصدفة رؤية هذه الظاهرة الفريدة في الطبيعة. وعلى من يراها عدم الاقتراب منها، أو محاولة لمسها، وإنما فقط عليه أن يراقب ويتذكَّر. ويسجِّل بعد ذلك ما رآه أو أحسَّه، ويرسل هذه المعلومات إلى مراكز الأبحاث المختصَّة، أو إلى كليَّات الجيوفيزياء في الجامعات.

الجدول (١) يبين مواصفات البروق الكروية التي تمَّ تسجيلها من جرَّاء ٤٥ عملية مراقبة ورصد:

المواصفات	عدد مرات الملاحظة (المراقبة)	النسبة من العدد الكلي لمرات الملاحظة % (للمراقبات)
لوحظت في وقت دافئ من العام	٣٧	٨٠
أظهرت طبيعة مستقلّة	٣٣	٧٥
حدثت أثناء الرعد	٣١	٧٠
حدثت أثناء المطر (مصحوبة بالرعد)	٣٦	٨٠
حدثت أثناء صعقة لبرق خطي	٨	٢٠
حدثت في أجواء المدن	١٧	٤٠
سقطت بسرعة إلى سطح الأرض	٧	١٥
حلّقت بسرعة في الأعالي	٤	١٠
تحرّكت بشكل أفقي	٣٨	٨٥
سبحت في الهواء بحريّة	٢٩	٦٥
دارت حول نفسها	٤	١٠
عادت مرتدّة عن السطوح التي ارتطمت بها	١٢	٣٠
هبطت مستقرّة استقراراً جيداً	٥	١٠
انجذبت نحو نواقل الكهرباء	١٦	٣٥
استمرّت ما بين ١ - ٢ دقيقة	٣٢	٧٠
قياسها ما بين ١٠ - ٣٠ سم.	٣٤	٧٥
تحرّكت بسرعة أقلّ من ٢ متر / ثانية	٣٠	٧٠
جاء سطوعها على شكل نبضات	٩	٢٠
اختفت دون أن يلاحظ أحد ذلك	١٣	٣٠
انفجرت	٢٤	٥٥
أصدرت صوتاً	٢٨	٦٠
أثّرت على أمواج الراديو	٦	١٥
أحدثت دماراً	٢٣	٥٠
آذت البشر أو الحيوانات	١٣	٣٠

(الجدول رقم ١)

يعالج العلماء ما يملكون من معطيات، محاولين الحصول على معلومات يمكن تعميمها على البروق الكروية. وقد تمَّ إنشاء الجدول السابق بناء على معطيات جاءت من ملاحظات فردية مبعثرة. وهكذا تمَّ تحديد خصائص وسطية للبرق الكروي تعطي تصوّراً كاملاً عن هذه الظاهرة الطبيعية الفريدة.

إبان العهد السوفييتي في روسيا تمَّ تخصيص السفينة «زاريا» للقيام بمراقبة مغناطيسية فائقة الدقَّة على سطوح البحار والمحيطات. وهي سفينة لا تتمغنط ولا تحوي أيَّة قطع قابلة للمغنطة. وأمكن اعتماداً على نتائج المراقبة إنشاء خرائط مغناطيسية أفادت في مختلف مجالات الاقتصاد، وساعدت في دراسة التوازن البيئي.

إن الآبار العميقة جداً، وشبكة المحطات الجيوفيزيائية، والطائرات، والسفن المحمَّلة بالأجهزة الجيوفيزيائية، والأقمار الصناعية، والمختبرات الفضائية، وكل هذه الأنظمة التقنية المعقَّدة تقودنا إلى فهم صحيح لبنية الأرض. وستعمِّق تصوّراتنا مستقبلاً عن تكوينها. وتُجرى الأبحاث الفيزيائية لدراسة الكواكب الأخرى أيضاً.

كتب غاليليو غاليليه[1] عام ١٦١٠م أنَّه يعتبر الأرض في أعلى درجات الكمال نظراً للتغيّرات التي تحدث عليها، وينسحب هذا نفسه أيضاً على القمر والمشتري (جوبيتر) وكواكب أخرى.

درس العالم السوفييتي كوزيريف أطياف غازات القمر، وأشار إلى تغيّرات فيها توافق تغيرات الزلازل الأرضية. واستناداً إلى هذا طرح

---

(١) **غاليليه Galilei** (١٥٦٤–١٦٤٢): عالم إيطالي من علماء الفيزياء والفلك المشهورين. اكتشف حركة دوران الأرض حول الشمس. أدانته الكنيسة عام ١٦٣٣م. ثم برَّأته ١٩٩٢م. من مخترعاته ميزان الحرارة والمنظار الفلكي. (المترجم)

فرضيته عن أن القمر ليس كوكباً «ميتاً»، وأنه تجري عليه عمليات زلزالية معينة. وكان من بين أهم مهام البعثة الأميركية على متن سفينة الفضاء «أبولون» عام ١٩٦٩م تنصيب رواسم زلازل على سطح القمر. وهذه الرواسم سمحت بدراسة بنية القمر واستيضاح وضعه الزلزالي، وكان هذا خير تأكيد للفرضية التي طرحها العالم السوفييتي عن الوضع الزلزالي للقمر. إن في هذا كله ما يدعونا إلى التأكيد إن اختصاصيي دراسة الأعماق (الجيوفيزيائيين) سيكونون دائماً في طليعة روّاد الفلك الذين سيزورون الكواكب الأخرى.

(٥)

المكامن المعدنية تصدر الرنين



- الانفجارات والصدمات تسبِّب الزلازل.
- الأرض غير متجانسة من حيث خواصّ مرونتها.
- الأمواج على سطح الماء وفي باطن الأرض.
- مفاجآت الأوساط المرنة.
- علم استكشاف الزلازل ورصدها يفتِّش عن مختلف الخامات الباطنية كالنفط، والكوارتز، والأملاح، وخامات أخرى.
- ما هو الڤيبروسيس؟
- عامل الضغط الكهربائي في الطبيعة.
- يبدو أن كل شيء قد أصبح واضحاً، ولكن..

هناك قول مأثور لبرنارد شو[١] هو : «العلم ليس على حقّ أبداً. فهو لا يحلُّ مسألة دون أن يخلق عشرات المسائل الجديدة». هل هناك أبلغ من هذا الكلام لوصف عملية الاستشعار الزلزالي!

تطلَّبت عملية تطوير علم الزلازل إيلاء أهميّة كبرى للجوانب التطبيقية المرافقة لهذا العلم. ومن هنا نشأ ما سمِّي فيما بعد الاستشعار الزلزالي، الذي تطلَّب تطويراً هو الآخر. فبعد النجاح في دراسات الزلازل الطبيعية التي تتعرَّض لها الأرض تمّت محاولات عدَّة، مستعينة بالاستشعار الزلزالي لدراسة طبيعة اهتزازات التربة تحت تأثير الانفجارات الاصطناعية التي يمكن اعتبارها بمثابة مصابيح لإنارة الأعماق.

في مطلع القرن الماضي اخترعت أجهزة رواسم زلازل محمولة، مكَّنت هذه الأجهزة من القيام بأبحاث ميدانية حول اهتزازات المكامن الصخرية، والفلزّية تحت تأثير الزلزلة الاصطناعية التي تحدثها الانفجارات. وقام الجيولوجيون بالخطوات الأولى على طريق دراسة المكامن الصخرية بهدف البحث عن الخامات الباطنية مستخدمين الدراسات التحليلية لاهتزازات سطح الأرض التي تحدثها أمواج مرنة يتمُّ توليدها اصطناعياً.

عام ١٩١٧م اقترح عالم الجيوفيزياء الأمريكي ل. مينتروب جهازاً محمولاً للاستكشاف الزلزالي بهدف دراسة اهتزازات الأرض الناتجة عن الانفجارات. وبوساطة هذا الجهاز تمَّ اكتشاف سلسلة من الحقول النفطية. وفي العشرينيات من القرن الماضي توسّع استخدام هذه الأجهزة في مجالات التنقيب عن النفط، لكن مخترعات مينتروب بقيت حبيسة خزانة أسرار الشركة.

---

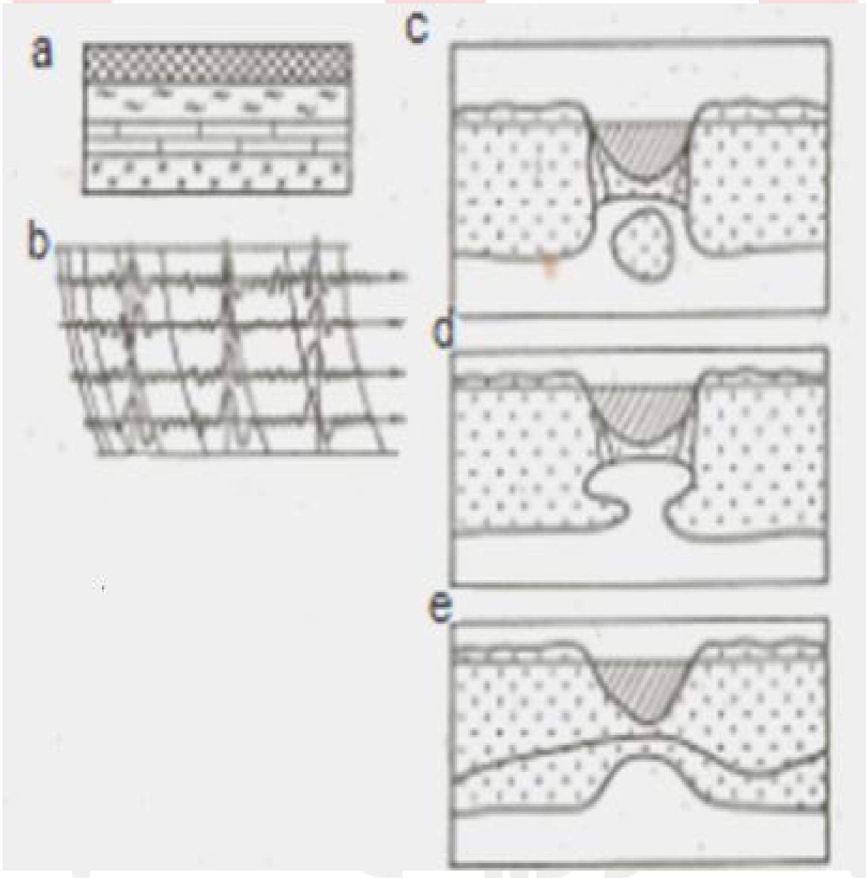
(١) **جورج برنارد شو** Shaw (١٨٥٦–١٩٥٠): كاتب روائي ومسرحي إيرلندي. وُلد في دبلن. تأثَّر بشيلي وكارل ماركس. اشتهر بالتهكم والتشاؤم. له «رجل القدر» و«تلميذ الشيطان» و«السلاح والرجل» ومؤلفات سياسية منها «استحالة الفوضى». نال جائزة نوبل عام ١٩٢٥م. (المترجم)

في هذا الوقت تقريباً، جرت، وبشكل مستقل عن أبحاث مينتروب مجموعة من الأبحاث والتجارب في مجال الاستكشاف الزلزالي في روسيا. ففي عام ١٩٢٢م. اقترح المهندس ڤيوتسكي طريقة جديدة في الاستكشاف أطلق عليها اسم طريقة الأمواج المنعكسة، وقام كل من الأكاديمي لازاريف، والبروفسور زابروڤسكي بوضع نظريات جديدة للاستكشاف الزلزالي. ومنذ ذلك الزمن بدأ في روسيا، ولاحقاً في الاتحاد السوڤييتي العمل على أجهزة الاستكشاف الزلزالي بشكل واسع، وقد اقتصر في البداية على التنقيب عن النفط إلا أنه امتدَّ سريعاً ليشمل كلّ مناجم الخامات. واعتمده المهندسون بمختلف اختصاصاتهم وأبحاثهم. وقدَّم الأكاديمي هامبورتسيف وتلامذته خدمات جليلة ساهمت في تطوير الاستشعار الزلزالي فيما بعد في الاتحاد السوڤييتي.

تحدِّد المعادلات الفيزيائية والرياضية العلاقة بين خصائص الأوساط المرنة، وخصائص الأمواج المدروسة، مثل سعة اهتزازات مكوِّنات الوسط. عند حلِّ المسائل النظرية للاستكشاف الزلزالي يتمُّ رسم أنموذج زلزالي للوسط الجيولوجي. وحسب الاستكشاف الزلزالي تعتبر الأرض مكوَّنة من طبقات ذات حدود مسطَّحة، ومتوازية فيما بينها (كما في الشكل 5a) ولكل طبقة من هذه الطبقات خواصّها المرنة. وتنعكس الأمواج عن كل حدٍّ من حدودها إلى أن تصل إلى سطح الأرض فتحرِّض مستقبِل زلزالي، وتسجَّل على شريط فوتوغرافي، أو ورقة تصوير، أو شريط مغناطيسي خاصّ برسم المنحنيات الزلزالية. (الشكل 5b). ويقوم المهندسون، اعتماداً على التسجيلات المنفَّذة على شريط المنحنيات، بالتأويل، والتفسير مصنِّفين الأمواج التي تبدو مختلطة حسب الطبقات الجيولوجية المرتبطة بها.

إن استغلال الأنموذج الطبقي الأفقي للأرض يلاقي نجاحاً كبيراً في التنقيب عن حقول النفط. فالبُنى الجيولوجية الغنية بالنفط، والغاز غالباً ما تكون حدودها مسطَّحة، ومتوازية، أو قريبة من هذا. ويظهر (الشكل 5) مقاطع محتملة للتربة. أحدها (e5) يمثِّل حالة قريبة جداً من الحدود الجيولوجية المسطَّحة. والأخرى c,d 5 لها حدود تختلف كثيراً عن الحدود المسطَّحة.

إن المقاطع الجيولوجية تتميّز عن المقاطع الأفقية – الطبقية في مناطق مناجم التعدين كمناجم النحاس، والنيكل، والفضة، والذهب، والڤولفرام، والموليبدين، وغيرها من المعادن. بكلمات أخرى يوجد في الطبيعة بُنى جيولوجية تتميّز عن الطبقات المسطَّحة المتوضِّعة بشكل أفقي. في هذه الحالة لم تتمكَّن النظريات بعد من معرفة كافة العوامل المؤثرة في تعرُّجات حدود هذه الطبقات. ولم يأتِ بعد العالم الذي يمكنه جمع ما تراكم، تجريبياً، من عوامل ليعيد صياغتها بشكل معادلات رياضية تتيح تنبؤات فذَّة، وأوصاف مفصَّلة للخواصّ المرنة للمقاطع الجيولوجية.



الشكل (٥)

نموذج لدراسة المنحنيات الزلزالية وتفسير معطياتها.

a – مقطع أُفقي لطبقات جيولوجية.

b - منحني زلزالي.

c-d-e - مقاطع أنشئت بحسب معطيات المنحني الزلزالي b من قبل اختصاصيين مختلفين للمنطقة نفسها – منطقة الافتراق ما بين آسيا وأفريقيا (مجلة المعرفة - قوة العدد٧ للعام ١٩٨١م.)

يذكِّر انتشار اهتزازات التربة بشكل من الأشكال بانتشار الأمواج على سطح الماء عندما ترمي حجراً فيه. وإذا ما كان اهتزاز أجزاء الصخور يسري عمودياً على الخط الذي تسري الأمواج على امتداده سمِّي هذا الاهتزاز عمودياً. وإذا ما كان اهتزاز أجزاء الصخور وانتشار الأمواج يسريان في اتجاه أفقي واحد سمِّيت الموجة طولية. إن الجزء من الماء المشكِّل للموجة السطحية لا يتحرَّك فقط إلى الأعلى والأسفل حسب مسار مستقيم، وإنما يقوم بحركة أكثر تعقيداً لها شكل الدائرة، أو القطع الناقص. وتكون حركة أجزاء الصخور أثناء الانفجار، بشكل أساسي، باتجاه أنصاف الأقطار المنطلقة من المركز الذي هو نقطة الانفجار. تنتشر الموجة المرنة في هذه الاتجاهات القطرية، وفي هذه الاتجاهات نفسها تتحرّك أجزاء الصخور أيضاً. إذ يؤدّي الانفجار إلى انتشار الأمواج الطولية في الوسط. وإذا ما استخدمنا التعبير الضوئي فإننا يمكن أن نشبِّه انتشار الأمواج بالشعاع. إذ إنَّ الشعاع الزلزالي يمثِّل اتجاه انتشار الموجة المرنة، فهو يخضع لقانون الهندسة الزلزالية. فعندما تلامس الموجة الزلزالية حدود وسطين يختلفان في خواصّهما المرنة فإنها تنتقل جزئياً من أحدهما إلى الآخر، وجزئياً أيضاً، تنعكس عنه.

في الاستشعار الزلزالي تُدرس الأمواج الطولية المنعكسة، والمنكسرة التي تظهر أثناء حركة الموجة من المصدر إلى العوائق التي تواجهها في طريق انتشارها. إن هذه الظاهرة تشبه ظاهرة الصدى تماماً، التي يمكن تفسيرها بانعكاس الموجة الصوتية عن العائق وعودة هذه الموجة المنعكسة إلى مصدر الصوت. تسمّى الاهتزازات المرنة ذات التردُّد مابين ١٦ و٢٠٠٠٠ هرتز

اهتزازات صوتية باعتبارها تعطي إحساساً خاصّاً بالصوت. ويمكننا بمعرفة الزمن الذي تستغرقه الموجة الصوتية ما بين مصدرها، والعائق الذي ترتد عنه، وزمن العودة، وسرعة انتشار الموجة في الهواء، أن نحدد المسافة بين مصدر الصوت، والسطح العاكس للموجة. وهاكم مثالاً بسيطاً. تبلغ سرعة موجة الصوت في الهواء ٣٣٠ متراً في الثانية. فإذا كنا نسمع الصدى خلال ثانية واحدة ، فإن طول طريق الموجة يساوي ٣٣٠ متراً، والمسافة بيننا وبين سطح انعكاس الموجة ١٦٥ متراً. وهذا المبدأ هو أساس «رادار» التقاط الصدى لدى الوطاويط، والدلافين، فضلاً عما يقدمه من خدمات للإنسان.

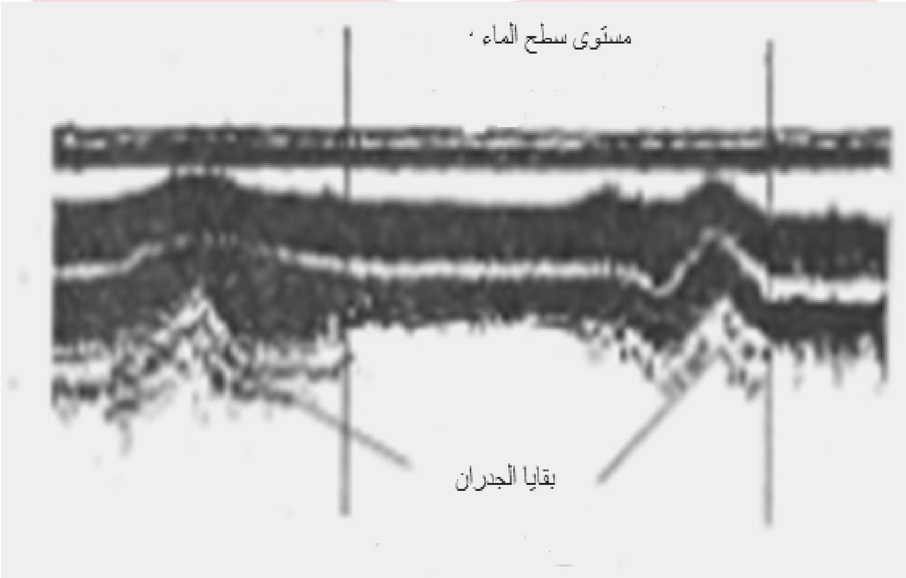
تنتشر الأمواج المرنة في الماء، وتنعكس بدورها عن العوائق غير المرئية، كالقعر، والطبقات الجيولوجية ذات خواصّ المرونة المختلفة، ويبدو الأمر كما لو أن الأجسام الجيولوجية التي تصلها الموجة تبدأ بإصدار الرنين طارحة نفسها كأمواج منعكسة. وتلقى هذه الخصائص تطبيقها العملي في تصميم جهاز قياس الأعماق (الإيكولوت)[١] الذي يستخدم اهتزازات فوق صوتية (بتردُّد يفوق ٢٠٠٠٠ هرتز) ويركَّب على السفن. وهو يتألَّف من جهاز قياس ذي مسجل آلي، ومصدر للأمواج فوق الصوتية، ومستقبل لها. يوضع المصدر في الماء. ويُشغَّل دورياً لفترات قصيرة.

لننظر كيف «يرى» الإنسان ما يوجد في قاع البحار عبر السماكات الهائلة، وغير الشفافة للمياه. تُرسَل الإشارات المتحسِّسة (أو المستشعرة كما يقول الجيوفيزيائيون) إلى القعر بفواصل زمنية صغيرة جداً، فلا تقطع السفينة بين الإشارة والأخرى أكثر من بضع عشرات من الأمتار. تنعكس إشارات المصدر عن القعر عائدة إلى المستقبِل طوال الوقت الذي تسير فيه السفينة على طول خط المراقبة. يسجِّل الكاتب الآلي قدوم الإشارة على شكل شَرْطة

---

(١) **الإيكولوت**: المرجاع وهو جهاز ملاحي هيدروصوتي يحدد بواسطته عمق المياه تحت السفن عن طريق قياس الزمن الذي تستغرقه نبضة صوتية تصدر عن الجهاز باتجاه القاع فترتد بعد اصطدامها به إلى الجهاز نفسه. (المترجم)

صغيرة على شريطه. ويشكل مجموع هذه الشرطات مخطط الصدى – وهو شكل يوضح تضاريس القعر.



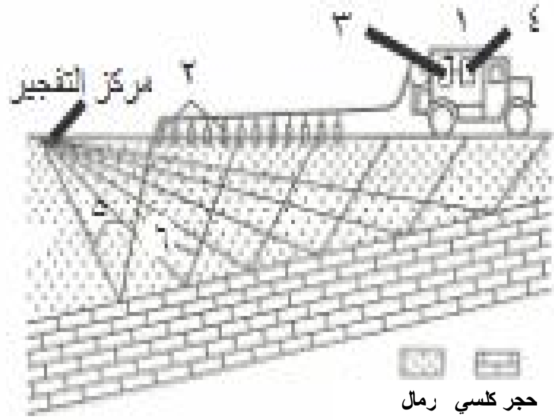
الشكل (٦)

مخطط الصدى

بهذا يجري تحديد عمق القعر وما عليه بشكل مشابه من حيث المبدأ لتحديد الأجسام من قبل الدلفين في الماء، أو الوطواط في الجو بواسطة جهازهما الجيوفيزيائي «الحيوي». فهذه الحيوانات تملك «رؤيتها الصوتية» الخاصّة بها للمواد قائمة على نفس أسس انعكاس، وتشتت الأمواج الصوتية.

تحدثنا سابقاً عن سرعة انتشار الأمواج المرنة. وهي مختلفة باختلاف الخامات والفلزّات. فهي في النفط ما بين ٦– ٧ كم/ثا. وفي الأملاح الصخرية ٤,٥– ٥,٥ كم/ثا. وفي الصلصال ١,٨– ٢,٤ كم/ثا. وفي الحجر الكلسي ٣,٢–٥,١٥ كم/ثا. وهكذا... عندما تنتشر الأمواج المرنة في طبقات الصخور والفلزّات تنعكس عن مناطق الحدود فيها بخواصّ مرونة مختلفة وتصل إلى سطح الأرض. وبمعرفة لحظة صدور الموجة عن مصدرها

ولحظة وصولها إلى نقاط مختلفة من سطح الأرض يمكن حساب سرعة انتشار الموجة والمسافة بين المصدر وحدود السطح العاكسة. يمكن بالاستعانة بمحطات رصد الزلازل قياس سرعة انتشار الأمواج المرنة في الصخور، والفلزّات الموجودة في توضُّعها الطبيعي. وتتعلَّق سرعة انتشار الأمواج هذه بنوع الصخور والفلزّات.



الشكل (٧)

مخطط لعملية الاستكشاف الزلزالي.

١ - محطة رصد زلزالي.

٢ - مستقبلات الأمواج الزلزالية.

٣ - مقوّي إشارة.

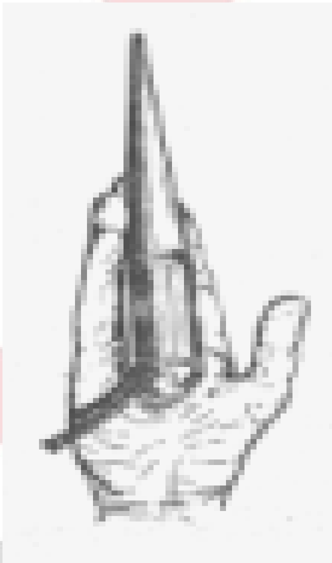
٤ - راسم إشارة.

٥ - أشعة الموجة المستقيمة.

٦ - أشعة الموجة المنعكسة.

(المصدر كتاب المؤلف ف. ك. خميليفسكي)

يفيد علم البيونيك[١] أن الأسماك تحسُّ بالأمواج المرنة من خلال أعضائها الحسَّاسة، كالخط الجانبي، وكيس الهواء. يقوم المستقبِل الزلزالي المحمول بإعادة تشكيل الأمواج المرنة في المحطات الكهربائية، والزلزالية، وهو جهاز ذو حساسية فائقة لاهتزازات الأرض.



شكل (٨)

جهاز استقبال أمواج زلزالية محمول

يتحسَّس المستقبل الزلزالي اهتزازات الأرض، حتى وإن لم تزد تردُّداتها عن بضعة ميكرونات. وتتضمَّن بنيته، فيما تتضمَّنه، محوِّلاً يقوم بتحويل الاهتزازات الميكانيكية إلى اهتزازات كهربائية، كما يحتوي على مغانط وملفات كهربائية وكتلة خاملة. عندما يهتزُّ سطح الأرض يهتزُّ معه المستقبِل الزلزالي. أثناء هذه الحركة تتأخر الكتلة الخاملة في جهاز الاهتزازات المحمول

---

(١) **البيونيك**: أحد اتجاهات السيبرنتيك (التسيير الذاتي) يدرس بنية ونشاط الأجسام بغية استعمال النواميس والخصائص المكتشفة في حل المعضلات الهندسية وإنشاء أنظمة تقنية تقترب في طبيعتها من الأجسام الحيَّة. (المترجم)

عن مجاراة اهتزازات الأرض. ويظهر بين الكتلة الخاملة، والمستقبِل الزلزالي فرق نسبي في الحركة (إزاحة). وبما أن هناك ملف وسلك ناقل مثبتان على الكتلة الخاملة، في حين يوجد مغناطيس مثبَّت على هيكل المستقبِل الزلزالي، فإنه مع إيقاع اهتزازات الأرض سوف تقطع خطوط قوة المجال المغناطيسي نواقل الملف. وهذا سيؤدي إلى ظهور توترات كهربائية على نهايات هذه النواقل تتعلَّق قيمها بتردُّد اهتزاز سطح الأرض. ولما كانت هذه التوترات صغيرة جداً فقد اقتضى الأمر تقويتها أولاً ثم بعد ذلك تسجيلها بالاستعانة بمسجِّل على المخطط الزلزالي. وغالباً ما يستعمل شريط مغناطيسي لتسجيل الاهتزازات الزلزالية. يشكِّل المستقبِل الزلزالي، ومضخِّم الإشارة، والمسجِّل ما يسمّى قناة المحطة الزلزالية. ويصل عدد هذه القنوات في المحطة ٢٤٠ قناةً تستخدم في حل المعضلات الجيولوجية.

وكما هو الحال مع جهاز قياس أعماق البحار من على سطح الماء، كذلك يمكن من على ظهر اليابسة، وبمساعدة المحطات الزلزالية، استقبال الأمواج المرنة المنعكسة عن مكامن النفط، والأملاح، والحجارة الرملية، والصلصال، وغيرها من الخامات. ويظهر مخطط عمل المحطة الزلزالية على الشكل (٧).

بالاستعانة بالاستشعار الزلزالي يمكن تحديد البُنى التي تشكل مصائد يتجمع فيها النفط أو الغاز. ويدل على هذه المصائد انحناءات خاصّة بها عن الخطوط الأفقية على المخطط الزلزالي. وهنا علينا أن نذكر أن الانحناءات على المخطط الزلزالي تأتي من أن مكامن النفط والغاز تترافق مع بُنى لها شكل القبة. يتجمع النفط والغاز في أعلاها. وفوق القبة تتوضَّع فلزّات كتيمة، تخفي تحتها أماكن توافر النفط، والغاز، ويمكن تحديد هذه الأماكن بوساطة الاستشعار الزلزالي. ولهذا يعتبر القائمون على الأمر أن واحدة من كل بنيتين مؤملتين للتنقيب عن النفط، والغاز قد اكتشفها الجيوفيزيائيون.

إن كلفة عمل مجموعة زلزالية واحدة على امتداد ثلاث سنوات تساوي كلفة بئر واحدة بعمق ٣٠٠٠ متر. ولهذا نجد أن الاستخدام المسبق للاستكشاف الزلزالي من أجل الكشف الأولي عن البُنى المؤملة في التنقيب عن النفط، والغاز، وبالتالي الانتقال إلى الحفر مستقبلاً. كل هذا يعطي منافع اقتصادية كبيرة. وكيما يكون البحث أكثر فعالية غالباً ما يستعان بالصور الكهرمغناطيسية، والأحفورية.

إن الإشارة المنعكسة قد لا تكون واضحة، فهي غالباً ما تكون غير دقيقة. إن الضجيج الزلزالي عالي التردُّد، أو الاهتزازات التي تسببها الأعاصير الخفيفة كلها لها سعة (مطال) صغيرة جداً (لا تزيد عن جزء من الألف من الميكرومتر المساوي لجزء واحد من الألف من المليمتر). وتستطيع الأجهزة تسجيل هذه الاهتزازات حتى وإن لم يكن هناك أية أسباب لاهتزاز الأرض. إنه «صوت» الأعماق الدائم. بقيت طبيعة الضجة سراً لا يعرفه أحد لفترة طويلة. وفي بداية الخمسينيات من القرن الماضي أشار إليه الأكاديمي هامبورتسيف كأحد مصادر المعلومات.

توصَّل العلماء إلى نتيجة مفادها أن مصدر الضجة الزلزالية هو ما يجري في الأعماق السحيقة من حركات الكتل المادية الكبيرة المترافقة مع طرح كميات كبيرة من الطاقة. هذه الضجة «تتحدث» بلغتها الخاصّة عن التغيرات الدائمة في البنية الداخلية للأرض. وتعبِّر الطاقة الناتجة عن كل الصدمات تحت الأرضية، وما يحيط بها، عن نفسها بهذا الشكل من الضجة القادمة من الأعماق. وهو، أي شكل الضجة، نتيجة لتأثيرات متكررة ودائمة على الكوكب بفعل اهتزازاته الداخلية. وتبين أيضاً أن اهتزازات خاصّة بطبيعة الأرض ترافق الأمواج الاهتزازية التي تصدر عن الزلازل. إن الأرض تتحدث عن نفسها بضجة كبيرة والمطلوب، فقط، هو أن نتعلم كيفية تأويل هذه الضجة.

قام العلماء بتصنيع مجموعة من الأجهزة ذات الحساسية العالية تتيح تسجيل الاهتزازات الضعيفة جداً للحصى حتى رتبة الميكرومتر. وعلى رأس قائمة هؤلاء العلماء كان ريكونوف، وتسيبلاكوف، وخافروشكين الذين أنجزوا اختراعات جديدة لقيت أهمية كبرى مع بداية التطور الكبير الذي لقيه الاستكشاف الزلزالي فيما بعد.

الاستكشاف الزلزالي لصيق بقضايا البيئة. فمصادر الاهتزازات الصوتية الاصطناعية يجب ألا تؤثر على حياة الكائنات البحرية. وقد وضع العلماء حداً لشدة الصوت يجب ألا ترتفع عنه. ويناضل الناس لاختصار التفجيرات السلمية، وذلك حفاظاً على الطبيعة المحيطة بنا للأجيال القادمة. وغالباً ما يستعملون التفجيرات في الاستكشاف الزلزالي، وهو ما يؤدي إلى تهديم البيئة المحيطة. وهناك بين العاملين من يختص بالتفجير «المفجِّر»، وهو الإنسان الذي يعمل مع المتفجرات، أي يحضِّر التفجيرات لتنفيذها. وقد تمَّ تصوير تفجير بغية الاستكشاف الزلزالي بالألوان في فيلم علمي أنتج في موسكو عام ١٩٨٢م. تحت اسم «الاستغلال الأمثل لثروات الأعماق»، حيث يضعون رزمة من المتفجرات في حفرة. وهناك بالقرب من المكان تقف مجموعة من الطيور، تمارس حياتها الخاصّة. وتضغط يد المفجِّر زرَّاً. انفجار! وتقلع الطيور مطلقة صرخات القلق. يجب أن نرى هذه اللقطات التي أعدَّها، اصطناعياً، المخرج ياكوبسون، وذلك كيما نفهم المأساة بعمق أكثر حتى تلك الناتجة عن تفجيرات سلمية.

تمَّ ابتكار طريقة في الاستكشاف الزلزالي دونما تفجيرات. إنها الڤيبروسيس. هنا لا توجد أيّة تفجيرات، وإنما يستعاض عنها بضربات هائلة توجَّه للأرض بوساطة كتل حديدية ضخمة. وهذا ما يشكِّل مصدر اهتزازات دونما تفجير، ولا يسيء إلى وضع الوسط المحيط. يعمل هذا المصدر بشكل متقطِّع فتتشكل في الصخور والخامات أمواج مرنة، لها شكل قريب من شكل

المنحني الجيبي. ويتغيَّر تردُّد الأمواج بشكل انسيابي. وما دام لا يوجد أيّ تفجير فيمكن استخدام هذه الطريقة في المناطق المأهولة بالسكان مما يوسع دائرة استخدام الاستكشاف الزلزالي، ويحسِّن فرصه.

يمكن للهزاز الذي يوضع على السيارات، والجرارات أن يكون مصدراً للأمواج المرنة. إذ إنَّ الصدمة تحدث نتيجة لدوران ثقل خاصّ. وقد غدت طريقة إصدار الاهتزازات المرنة دونما تفجير سمةً مميّزةً للاستكشاف المعاصر.

تأتي أهمية الاستكشاف الزلزالي بطريقة تحريض الاهتزازات المرنة من إمكانية تعميمها مع طيف تردُّدي مفروض. ويمكن التحكم بتردُّد الاهتزازات المرنة كما يمكن اختيارها بغية دراسة الأعماق الصغيرة، ضمن حدود ١,٥–٢ كم. مثلاً. وهي الأعماق التي توجد عليها مكامن الخامات، والفلزّات. ويعتبر الدكتور في علوم جيولوجيا الفلزّات لوكاشين مؤسِّس طريقة الهزِّ الزلزالي. وقد صمم لهذه الغاية مجموعة من التجهيزات الخاصّة أعطاها اسماً رمزياً مختصراً هو (B C K). وما زالت تستخدم بشكل واسع في الأعمال الإنتاجية.

ونكمل الحديث عن خصائص الخامات، والفلزّات المحيطة بنا. نحن نعلم من الفيزياء أن البلورات ذات الشحنات الكهربائية المتوضِّعة على زواياها تغيِّر خواصّها الكهربائية إذا ما تغير طولها ميكانيكياً. وفي عام ١٨٨٠م. أكد الإخوة كوري أنه إذا ما تمَّ ضغط بلّورات الكوارتز فإن الكهرباء ستظهر على سطحها. وبُدئ بتطبيق هذا الناموس الفيزيائي على الخامات والفلزّات. وكان كل من ڤولاروڤيتش وبارخومينكو أول من طبَّق عامل ضغط الشحنات الكهربائية على أنموذجات الخامات، والفلزّات تحت تأثير الأمواج المرنة التي تحدثها الانفجارات، أو الصدمات وذلك عام ١٩٥٤م. إن العوامل الكهربائية التي تنشأ نتيجة لذلك ترتبط بتكهرب (استقطاب) الفلزّات، وتغيِّر ناقليتها النوعيّة للكهرباء، ونفوذيتها المغناطيسية، والكهربائية الضعيفة. وبالعلاقة مع العامل المكتشف يمكن إيضاح مظاهره المغنوزلزالية، والكهروزلزالية.

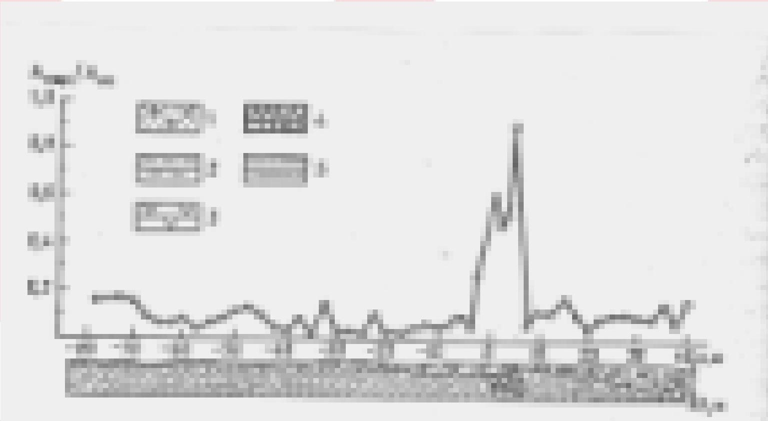
إن خواصّ الفلزّات التي تتمُّ دراسة أنموذجات منها في المخابر تصبح أساساً لطريقة البحث المقبلة. وتتوضَّع الفلزّات النشطة على أنساق يحكمها توضُّع الشحنات الكهربائية على رؤوس بلوراتها الطبيعية. ولدراسة هذا التوضُّع وخواصّه تُقصُّ في مناطق تكشُّف عرق الفلزّ قطعة على شكل مكعب بحيث توازي وجوهه وضع سقوط العرق، أو امتداده. وهذا ما سيسمح لاحقاً بالربط الدقيق بين نتائج القياس، والمقطع الجيولوجي. يعرِّضون الأنموذج لتأثير الأمواج المرنة التي يصدرها مصدر خاصّ، وهو الهزَّاز. وتتمُّ دراسة الاستقطاب الكهربائي الناتج عن ذلك بقياس الإشارة الكهربائية المأخوذة من الأنموذج بواسطة الإلكترودات التي يمكن أن يكون لها شكل الحسَّاسات مثلاً. وكمثال أُخذت في أحد مناجم البيغماتيت[١]، الغنية بالكريستال، عيِّنة من الكوارتز نصف الشفاف، ووُجِد أن القيمة المتوسّطة لضغط البلّورات هي ١٧ وحدة في جملة القياس الدولية SI، وللبيغماتيت الخالي من الكوارتز ٠,١ وحدة في الجملة الدولية نفسها. وللفلسبار[٢] حوالي الصفر. غير أن هذا العامل منعكس. مثلاً، إذا وضعنا العيّنة في حقل كهربائي متغيّر، فإنه يمكن قياس قوّة الموجات المرنة على سطوح العيّنة. وهذا عامل عكوس.

---

(١) **البيغماتيت** من اليونانية Pëgmatos (الرابطة القوية) خامات ذات حبيبات كبيرة. غالباً ما توجد على شكل تشعبات أو عروق أو أقراص أو جيوب ذات منشأ من بقايا الغرانيت أو قلويات ماغما الحجر الأسواني. تتكون أساساً من الكوارتز والفلسبار والبلق (الميكا) وألوموسيليكات الصوديوم والبوتاسيوم وغيرها.

(٢) **الفلسبار** Spat وهي تسمية ألمانية قديمة أطلقت على مجموعة من الفلزّات التي لا بريق معدنياً لها وقد انفطرت باتجاهات مختلفة إلا أنها حافظت على ترابط معين هو غالباً على شكل قطع أو صفائح. ينتمي إلى هذه المجموعة أيضاً الحجر الفلوري (الفلوريت) وكربونات الكالسيوم المتبلور (الكالتسيت) وطينة مونوكسيد الباريوم (الباريت). تتناثر أثناء اللحام قطعاً .

إن الدراسة الناجحة التي أُجريت على العيِّنات سمحت بتنفيذ تجارب واقعية على عروق الكوارتز. وغالباً ما تتواجد إلى جانب الكوارتز، والبيغماتيت الحاوي على الكوارتز مكامن الذهب، والقصدير، والتنغستين (الڤولفرام)، والموليبدين، والبلور الصخري (الكريستال). ويظهر الشكل(٩) العلاقة بين سعة العامل الضغطي Piezo-Effectus [١]، وسعة الحقل الزلزالي للأمواج المرنة.



الشكل (٩)

منحني تغير النسبة بين مطالي كل من مجال

عامل الضغط الكهربائي (A_{PEF}) والمجال الزلزالي (A_{CP})

أُنشئ المنحني بناء على معطيات أحد مكامن الكوارتز. حيث تتوضَّع عروقه ضمن المرمر، والطين الصفحي، وتكون مغطاة من الأعلى بطبقات رخوة من الطمي، والترسبات تصل سماكتها إلى ستة أمتار. وقد نُفِّذت هذه الأعمال في مناطق مختلفة من روسيا. أثناء تنفيذ الأعمال كانوا يجرون الانفجارات، ثم يتابعون خصائص المجال الكهربائي الذي ينشأ من جرَّاء

(١) العامل الضغطي Piezo-Effectus تركيب من كلمتين Piezo وهي كلمة يونانية تعني «أضغط»، و Effectus وهي كلمة لاتينية تعني فاعلية . (المترجم)

التحولات في الطاقة المرنة التي تطرأ على وضع الشحنات الكهربائية على وجوه مكعبات البلورات. هذه التحولات التي تنشأ عادة عن كيفية توضُّع عروق الكوارتز في الأرض. فإذا ما تمَّ تسجيل سعة الحقل الزلزالي للموجة المرنة، فقط، فإن العرق لن ينفصل. وما دامت المقاومة النوعيّة للخامات المتداخلة والعرق متساوية فإن استخدام الاستكشاف الكهربائي يغدو أمراً مستحيلاً. وهكذا تعمل قوانين فيزياء «الصخور» الموجودة حولنا. وهي في حالتنا هذه عروق الكوارتز. وقد تمكِّننا من تحديد إمكانية الاستخدام المزدوج للظواهر الزلزالية، وظاهرة ضغط الشحنات الكهربائية الموجودة على أوجه البلورات. وحيث ترى الظواهر المتعلقة بالشحنات الكهربائية على أوجه مكعبات البلورات على المنحنيات الموافقة للمنحني في (الشكل ١٠) تظهر زيادة في سعة مجال شحنات وجوه البلورات عن سعة المجال الزلزالي.

ظهر نتيجة لاستعمال طريقة شحنات وجوه البلورات أثناء البحث عن فلزّات البيغماتيت الحاوية على الكريستال في أحد المناجم وعلى مساحة ٣ كم^{2}، فقط، أنه يوجد نحو ١٠٠ جسمٍ فلزّيّ. وقد وفَّر استعمال هذه الطريقة الملايين الكثيرة نتيجة لاختصار حجم أعمال التنقيب، والحفر. ونال العلماء الذين طبَّقوها الميداليات، والنياشين، وكافّة أشكال التكريم في أوطانهم. كان على رأس هؤلاء نيشتادت، وفولاروفيتش عام ١٩٧٣م. ولا زالت دراسات خواصّ الفلزّات، والخامات فيما يتعلَّق بتوزُّع الشحنات الكهربائية على وجوه سطوح مكعباتها جارية. إن العامل الزلزالي الكهربائي يربط ما بين الاستكشافين الزلزالي، والكهربائي.

نتيجة لدراسة العيِّنات ظهر ما سُمِّيَ، لاحقاً، العامل المغنوزلزالي. وهو عامل يمكن توسيع استخدامه كثيراً. كما ظهر العامل الكهروكيميازلزالي أيضاً. ومن المحتمل وجود سلسلة من التأثيرات العامة، والجامعة في وقت

واحد. إذ إنَّ الفيزيائيين يبحثون عن العلاقات المتبادلة بين الحقول الفيزيائية. وهذه العلاقات المتبادلة هي نواميس موجودة في الطبيعة، وكل ما يجب علينا هو أن نتعلَّم كيف نرصدها، وندرسها، ونفهمها.

عندما تعمَّقنا في دراسة البئر الشديدة العمق في شبه جزيرة كولا لم نعثر على حدود بين الطبقات المختلفة. وكان المحلِّلون قد أطالوا الحديث عنها. إنه لغز آخر تطرحه النظريات. يبدو أن الوسط الحقيقي يتعامل مع الأمواج المرنة بتعقيد أكثر مما كان متصوَّراً حسب النظرية المعمول بها.

على (الشكل ٥) يظهر المنحني الزلزالي. وبعد معالجته على الحاسبات بأشكال مختلفة تمَّ الحصول على ثلاثة احتمالات للقطع. إن النظرية تتيح أكثر من طريقة واحدة لمعالجة المعطيات البحثية. ويُنشئ الباحثون النظريون أنموذجات للوسط الزلزالي. لكن الأرض الحقيقية تختلف عن هذه الأنموذجات بما يوضح ما نحصل عليه من احتمالات متعدِّدة للحلّ. إن إنشاء أنموذج حقيقي للأرض المرنة، وإظهار خواصّها المرنة الجديدة، ونواميس استخدام الكتل سيسمح مستقبلاً برسم صورة "زلزالية" أكثر دقَّة للأرض. إنها مسألة متروكة للمستقبل. لكن الباحثين النظريين توصَّلوا منذ ما قبل العقد الأخير من القرن الماضي إلى نجاحات كبيرة. فقد نالت مجموعة من العلماء الأفذاذ، وعلى رأسهم بتراشين عام ١٩٨٢م. جوائز حكومية رفيعة تكريماً لسلسلة أعمال استمرَّت أعواماً حُلَّت خلالها معضلات عويصة عن انتشار الأمواج المرنة في أنموذجات من أوساط معقَّدة، وقريبة من الواقع، وذات خواصّ مرنة.

إن مكامن الفلزّات، من حيث شكلها الهندسي الخارجي، غالباً ما تكون قريبة من أشكال معروفة كالكرات، والأسطوانات، والأقراص، والألواح العمودية. ويعدُّ إنشاء النظرية التي تفصِّل بنية القطاعات الزلزالية المعقَّدة، التي تحتوي على مثل هذه الأشكال واحدة من المسائل الحيوية للاستكشاف

الزلزالي المعاصر. وانطلاقاً من العلاقة بين طول الموجة المرنة وأبعاد العيِّنة المدروسة نستطيع إما «رؤية» العينة المخبأة في الأرض، وإما لا. وإليكم ما يقوله الدكتور في علوم الفيزياء، والرياضيات كارايف بخصوص القضايا الحيوية في الاستكشاف الزلزالي: «إن معارفنا المفصَّلة تنمو باضطراد. ولكن عدد القضايا التي يصعب إيجاد الحلول لها ينمو بسرعة أكبر. ومع أيّ شيءٍ سنقارن «الصورة» الزلزالية؟ فهي بالذات أساس معرفتنا لبنية أعماق الأرض». وفيما يخصُّ الاستكشاف الزلزالي، فهذا هو نفس ما قاله برنارد شو عن العلم بعامّة.

(٦)

قوة الجاذبية تبوح بأسرار الأعماق



- **تبدو الجاذبية أمراً عادياً جداً، لكنه لا يزال غير مفهوم تماماً.**
- **الإنسان يستطيع فعل كل شيء.**
- **أوزان ونوَّاسات موجودة في كل مكان.**
- **حكاية بوليسية.**

نتحدَّث في هذا الفصل عن علم يدرس جاذبية الأرض ليستخدمها في حل القضايا الجيولوجية. وهذا أحد أشكال البحوث الجيوفيزيائية، ويشبه في كثير من وجوهه، الاستكشاف المغناطيسي.

إننا سنعود لاحقاً إلى قضية تشابه الطرق المذكورة، خاصّة وأن ذلك يختصر حديثنا عن علم الثقالة، أو الجاذبية. أما الآن فنشير إلى أن مجال الجاذبية، كما المجال المغناطيسي لم تخضع كل علائقه للمعرفة التامّة بعد؛ واصطدم الفيزيائيون أثناء دراستهم له بالكثير من «الألغاز» التي تتطلَّب الحل.

«حسناً، لكن هذا كثير! – يمكن لأحد القراء أن يقول – والكاتب إنما يقول هذا تظرُّفاً. إننا نعرف، بشكل ممتاز، بعض قضايا قوة الجاذبية. فما زلنا منذ سنوات المدرسة نتذكَّر قانون تجاذب الكتل الواضح والبسيط الذي وضعه العالم الإنكليزي الفذّ إسحق نيوتن[1]، ونعلم أن قوى الثقالة، أو الجاذبية تنظِّم، في كثير من الوجوه، كل الدنيا التي تحيط بنا، والكون أيضاً، بما فيه مسارات كواكب مجموعتنا الشمسية. زد على هذا أننا نرى دائماً تأثيرات قوى الجاذبية على كل ما يحيط بنا. إنها قوة الجاذبية «الحميدة» التي تدفع في الاتجاه العمودي الأشجار، والأزهار، والشاقول، وتدفعنا نحن البشر أيضاً، وتوجِّه حركة نقاط المطر، واندفاع تيّارات مياه الأنهار، وتشكِّل الترسُّبات المختلطة، وتمسك بالغلاف الجوي فوق الأرض والمياه، ماسكة إيانا عن الطيران في الفضاء، تحت تأثير القوة الطاردة المركزية الناجمة عن دوران الأرض. وهي في نفس الوقت قوة الجاذبية «الملعونة» التي تتسبَّب بالانهيارات الثلجية الخطيرة، والانهيارات الصخرية، كما أن لها تأثيراً فعَّالاً على مسارات الانهيارات الثلجية الرهيبة المتهاوية من الجبال العالية، وتمنع الرياضيين من تحقيق القفزات الرائعة، وتعيق إقلاع الطائرات، وإطلاق الصواريخ، وتستهلك كمية كبيرة من الطاقة للتخلُّص من قوة جذب الأرض. فكل هذه المصاعد، والروافع بمختلف أنواعها، وكثير من الآليات الأخرى تعمل للتخلُّص من آثار قوة الجاذبية الأرضية. وهي في نفس الوقت تعوِّضنا جزئياً عن الطاقة، فلولاها لما أدارت المياه عنفات (توربينات) محطات الكهرباء الهيدروليكية».

---

(١) **السير إسحق نيوتن** Newton (١٦٤٢ -١٧٢٧): فيلسوف وعالم ورياضي وفيزيائي وفلكي إنكليزي. اكتشف تكوين الضياء الشمسي ١٦٦٩ وقوانين الجاذبية ١٦٨٧، كما اكتشف أسس حساب التفاضل في الوقت ذاته الذي اكتشفها فيه لايبنيتس. (المترجم)

كل هذا صحيح أيها القارئ العزيز، إننا نعرف قوة الجاذبية جيداً، ونفهم لماذا هي لا تشبه الحقل المغناطيسي، الذي لا نحسُّ بوجوده. بينما نحسُّ بقوة الجاذبية بشكل مستمرّ، وأحياناً بصورة مؤلمة جداً، وذلك إذا ما سقط شيء علينا من ارتفاعٍ عالٍ «إنها لسعادة كبيرة أن الجيوفيزيائيين اخترعوا طرقاً أخرى لقياس مجال الجاذبية». ولكن إذا ما ابتعدنا عن المزاح، وحاولنا الإجابة عن بعض الأسئلة المفصلية قفزت فوراً بعض المشاكل إلى الواجهة، ولن تعيننا تصوُّراتنا الحياتية المألوفة عن قوة الجاذبية الأرضية في شيء. وإليكم بعض الأسئلة «اللعينة»:

١ - كيف يتشكَّل مجال الجاذبية؟ وهل هو موجود في كلِّ زوايا المعمورة؟ وهل هناك في الطبيعة كتل سالبة؟

٢ - كيف ينتشر مجال الجاذبية؟ ترى على شكل موجات جاذبوية، أم جزيئات صغيرة خاصّة (غرافيتون)[(١)]؟ أيتمّ هذا لحظياً، أم بسرعة معيّنة؟

٣ - ما شكل العلاقة بين الجاذبية والوسط المحيط؟

٤ - هل يمكن حجب مجال الجاذبية؟

إن نظرية نيوتن الكلاسيكية لا تعطي أجوبة على هذه الأسئلة. وإنما تجيب عليها الفيزياء النسبية، وبشكل أدقّ، النظرية النسبيّة العامّة لألبرت أينشتين[(٢)]، التي تحدِّد مجال الجاذبية كتابع لهندسة الفضاء – الزمن. ولن يسمح لنا «فضاء»

---

(١) **الغرافيتون** Graviton من الكلمة اللاتينية Gravitas وتعني جاذبية: جسيم فرضي (كوانت) لمجال جاذبية ضعيف، يتحرك بسرعة الضوء. ولا يملك كتلة سكونية. تعتمد نظرية الكوانت على امتصاص أو إطلاق الغرافيتونات لتأكيد وجود التأثير الجاذبوي المتبادل بين الكتل. يعتقد أن كتلة الغرافيتون، إذا ما وجدت، لا تتعدى 10-65 غ. وهذا ما يجعل تصوُّرنا عن إمكانية الحصول على مثل هذه الجسيمات، أو عزلها مستحيلاً.

(٢) **ألبرت أينشتاين** Einstein (١٨٧٩ -١٩٥٥): فيزيائي أمريكي، ألماني الأصل. وضع «النظرية النسبية» و«النظرية النسبية العامة». نال جائزة نوبل عام ١٩٢١. (المترجم)

هذا الفصل، للأسف الشديد، التعمُّق في تفصيل هذا، ولا في الأوضاع الأخرى للنظرية النسبية فيما يمسُّ الجاذبية. ونشير فقط إلى أن الاختبار التجريبي للنظرية النسبية العامّة، وبالضبط في قسم «الجاذبية» كان أمراً في غاية الصعوبة. فقد اصطدم الباحثون هنا بظواهر غاية في الدقَّة، ومستوى عال من العوائق والعقبات التي تحول دون الحصول على نتائج مرضية.

ليس لأسرار الثقالة (الجاذبية) المذكورة آنفاً أيّة علاقة بـــ «الاستكشاف الثقالي». ونحن إنما تحدَّثنا عنها باختصار، فقط، لإظهار تعقيدات هذه الظاهرة، وما يرتبط بها من إنشاء نظري، وعرض الاختبارات الدقيقة التي يقوم بها العلماء لدراسة حقل الجاذبية. إذاً «فالبشرية تستطيع فعل كل شيء» كما قال ر. رولان في معرض حديثه عن نجاحات العلم.

إن هذه القوة التي لا نعرف كل شيء عنها بعد يستخدمها الجيوفيزيائيون والجيوديزيون لسنوات طويلة في دراسة الأرض من حيث بنيتها، وشكلها. وليس في هذا ما هو مستغرب. وهل نحيط دوماً بكل شيء عمّا نستخدمه في حياتنا العادية من أشياء، وأجهزة؟ وهل نعرف دائماً تركيب ما نتناوله من أدوية، أو ما نستعمله من دهانات، أو أصبغة، والكثير الكثير مما نستخدمه في بيوتنا؟ إن هذه المواد موجودة لتخدمنا وكفى. وهذا ما ينطبق على مجال الجاذبية الأرضية.

وقد تمَّ، بقصد استخدام قياس قوة الجاذبية في دراسة الأرض، إعداد نظريات في علم الجاذبية. وطرائق عمل تتطابق مع الأجهزة المعنية، والتي هي في غاية الدقَّة. فالقياسات تتمُّ الآن بدقَّة تصل إلى واحد من مئة مليون (   ) من متوسط قيمة تسارع السقوط الحرّ على سطح الأرض. وهذه الدقَّة يتمُّ الوصول إليها في الظروف الواقعية لميادين التجارب، وليس في المخابر. فكيف لنا، إذاً، ألا نتذكَّر، باستمرار، كلمات رولان الواردة أعلاه.

نُفِّذت القياسات الأولى بالاستعانة بنوَّاسات خاصّة. وتمثِّل النوَّاسات أجهزة رائعة في كثير من المجالات. فنحن نستخدمها في آليات الساعات، ولبرهان دوران الأرض (نوَّاسات فوكو). ويستخدم دارسو الجاذبية إحدى خواصّها المعبر عنها بعلاقة دور الحركة النوسية للنواسات بظروف تسارع السقوط الحر(g)، وهو ما كان هيوجنس قد أكَّده في القرن السابع عشر. ودور اهتزاز النوَّاس (T) بالتعريف هو الزمن الذي يستغرقه النوَّاس لإنجاز هزَّة كاملة. أي حركته من وضع الحياد، في إحدى الجهتين، ثم إلى الجهة المقابلة، ومن ثم العودة إلى الوضع الحيادي، أي النقطة التي بدأت منها الحركة. فإذا ما قسنا الدور (T) بدقَّة وكان طول النوَّاس معروفاً لدينا، فإنه يمكن حساب تسارع السقوط الحر (g). وطبعاً ليست الأمور بهذه البساطة عملياً، مادام هناك عوامل خارجية تؤثر على النوَّاس كدرجة الحرارة مثلاً. كما أن تحديد طول النوَّاس ودور حركته بدقَّة هو أمر في غاية الصعوبة. ولكن «البشرية تستطيع فعل كل شيء». لهذا كلِّه تمَّ ابتكار نوَّاسات دقيقة جداً، بما فيها النوَّاسات التي تمكِّن من إجراء القياسات ليس على اليابسة فقط، وإنما على ظهر السفن، وفي الغوَّاصات، أي على بواخر متحرِّكة، ومهتزَّة، ومتأرجحة. ومن الطبيعي أن تكون هذه الأجهزة قليلة الشبه بنوَّاس الساعة إلا في نواحٍ طفيفة جداً.

لا تستخدم القياسات التي تؤخذ بواسطة النوَّاس لأهداف جيولوجية، وذلك لأن مراقبتها بالنسبة لكل نقطة تحتاج إلى ساعات عدَّة، غير أن الملاحظات التي سُجِّلت مبكِّراً ما زالت حتى يومنا هذا تحتفظ بأهميتها في الأبحاث الفلكية، والجيوديزية. وبعضها ما زال يشكِّل دعامات أساسية للتصوير الخاصّ بالعلم الذي يدرس قوة جاذبية الكرة الأرضية، والكواكب التابعة لها، كالقمر، وغيره.

الخطوة اللاحقة في تطوُّر الوسائل التقنية لعلم دراسة الجاذبية الأرضية جاءت على يد عالم الجيوفيزياء العبقري الهنغاري ر. إيتفيش. الذي اقترح

قياس التغيرات في قوى الجاذبية Gradientis[1] واخترع لهذا جهازاً خاصّاً أسماه مقياس التغيرات في الجاذبية. وقد أعطت قياسات التغيرات هذه بعض الفوائد في الأبحاث الجيولوجية في العديد من الحالات. غير أنه، وبصرف النظر عن سلسلة عمليات الاستكمال اللاحقة، فإن الإنتاجية الضعيفة كانت، وتبقى أكبر عيوب هذه الأجهزة. فإنجاز عملية قياس واحدة تتطلَّب زمناً كبيراً جداً. لهذا فإنه في المرحلة الأولى من الدراسات التي أُنجزت على قاعدة علم دراسة الجاذبية كانت الصور التفصيلية العالية الكلفة للمساحات، أما تنفيذها بحجم كبير فلم يكن ممكناً أبداً.

في نهاية العقد الثاني من القرن الماضي ظهرت أجهزة جديدة لقياس الجاذبية تميّزت بكتلة وحجم صغيرين نسبياً، كانت هذه الأجهزة تسمح بتنفيذ المراقبة خلال دقائق معدودة. أثناء استكمال أجهزة قياس الجاذبية استخدم المخترعون مبادئ قياس جدَّ مختلفة، ومتنوِّعة. لكن الجهاز الأساسي المستخدم منها في التطبيق العملي يذكِّر من حيث مبدأ العمل بالربائع المستخدمة كموازين. وفي واقع الحال يمكن استخدام الربائع في قياس قوة الجاذبية. إلا أن الربائع لا تصلح لهذا الغرض على سطح الأرض، حيث التغيُّر في قيمة قوة الجاذبية طفيف جداً. لكن إذا ما أمكن تثبيتها على أجسام، أو أجرام سماوية مختلفة فسيمكن حينها تسجيل تغيُّراتها بجلاء، ووضوح. ولكننا سنرى عندما نعلِّق بها ثقلاً ما أنه على سطح المشتري (جوبيتر)، أو على سطح الشمس، ستحصل استطالة كبيرة على نابض الربيعة، ووزن الثقل الذي علَّقناه بها يختلف عما كان عليه على سطح الأرض. يتغيَّر تسارع السقوط الحر على سطح كرتنا الأرضية ضمن مجال من ٩،٨٣ م/ثا^{٢} (٩٨٣ هال) في القطب، إلى ٩،٧٨ م/ثا^{٢} (٩٧٨ هال) على خط الاستواء. وفي حدود منطقة جيولوجية

---

(١) التغيرات Gradientis: الزيادة أو النقصان التي تطرأ على الكميات الفيزيائية في الفضاء. (المترجم)

معيّنة لا أكثر من ٠،٠٠٠٥ م/ثا٢ (٥٠٠ ملي هال). لهذا كلّه، ولأهداف قياسات الجاذبية، وجب اختراع موازين ذات دقَّة عالية، تستخدم فيها وشائع خاصّة من الكوارتز، أو غيره، توضع في فراغ معزول عن تأثير الحرارة، وغيرها من مسبِّبات الأخطاء المختلفة.

لعل من المفيد أن نذكر أن أحد أجهزة قياس الجاذبية كان من اختراع لومونوسوف. إلا أن هذه الأجهزة لم يُعمَّم استخدامها إلا في ثلاثينيات القرن الماضي. وكانت أجهزة CH-3 أول أجهزة دقيقة تعمل ضمن مجالات واسعة في الاتحاد السوفييتي السابق. وقد لقيت انتشاراً كبيراً في الأوساط العلمية. وقد اخترعها بادوبني، وهو أحد كبار الجيوفيزيائيين السوفييت، وقد كان رئيساً لمجموعة رائعة من الميكانيكيين، ودارسو الجاذبية الروس. وقد شارك في ابتكار وتصنيع أجهزة، من هذه الأنواع، الكثيرون من العلماء الكبار أمثال: فيدينسكي، و سيميونوف، وفيسيلوف، ومالادينسكي، ولوكافتشينكو، ولازينسكايا، والكثير غيرهم. وكانت مبادئ الهزات الزلزالية العمودية التي صاغها الأكاديمي الروسي الشهير غوليتسين، الذي يعتبر مؤسس علوم الزلازل، تقع في صلب التصميمات الجديدة.

نحن الآن نمتلك مجموعة نماذج متنوِّعة جداً من مقاييس الجاذبية، بما فيها مقاييس للاستعمالات الخاصّة لإجراء القياسات في الآبار، والمناجم، والمقاييس الخاصّة بقياس التجاذبات في البحار، والجو. إلا أن قياس تسارع السقوط الحرّ على حامل متحرِّك، أو متأرجح هو عمل معقَّد جداً. لأن الطائرة، أو السفينة التي سيحمل عليها جهاز قياس الجاذبية تتعرَّض، طوال الوقت، لتسارعات صادرة عن منشأ مختلف، ولا بدّ من التخلُّص من تأثيراتها.

لعل من نافلة القول أن نذكر أن تصنيع، وإنتاج مثل هذه الأجهزة الدقيقة، كمقاييس التجاذب الكوارتزية، هو عمل معقَّد، وصعب بشكل استثنائي. لهذا

كان لا بدّ من امتلاك ناصية المعرفة والإعداد العالي المستوى في النظرية، والتقنية، والتعدين. ولا بدّ من التصنيع اليدوي لخيوط رفيعة جداً، وطبقات عازلة، وبصريات معقَّدة، وتجهيزات فراغية. هنا يدور الحديث عن أجزاء من الميكرومتر، والميلي غرام. إن مقياس التجاذب الكوارتزي، وعموماً أي مقياس دقيق آخر إنما هو معجزة تقنية حقيقية. أوليس من المثير للدهشة أن اختراع مثل هذه الأجهزة هو دراما علمية بحبكة معقَّدة، تحليق، وسقوط، أمل، وتشاؤم، تجارب لا تحصى، أحياناً تبلغ الذروة (عندما تجرى التجارب الأخيرة بشكل نهائي). وأحياناً تبتعد جداً فتنتهي إلى ما لا يسرُّ. تعذِّب الشكوك الشخصيات المحورية في هذه الدراما، وهم المخترعون، تماماً كالأمير الدانيماركي هاملت (هل سيتحقّق استكمال الجهاز أم لا؟). المخترع هنا كما شايلوك[1] فوق الذهب يرتعش فوق احتياطي القطع النادرة. وكما أعسر ليسكوفسكي الشهير يصنع العجائب الدقيقة - الخيوط الكوارتزية. يدعوه الخصوم للجدال في وقت غير مناسب أبداً – مباريات. ويجاهدهم كالفارس الشجاع إيفنهو[2]، خارقاً تروس اللامبالاة، وساتراً ذنوبه، بإبدائه أحياناً غيرة عطيل وهو يرى نجاحات الآخرين. إن مسألة الاختراع صعبة جداً لكن سعادة المخترعين لا توصف، وهم يرون سلسلة اختراعاتهم من الأجهزة تعمل في التوندرة[3]،

---

(١) **هاملت وشايلوك وعطيل** إشارة إلى شخصيات رئيسية في أعمال شكسبير المسرحية: هاملت وتاجر البندقية وعطيل.

(٢) إشارة إلى رواية شهيرة تحمل نفس الاسم للكاتب والشاعر الاسكتلندي والتر سكوت Scott (١٧٧١ – ١٨٣٢م.). له أيضاً رواية شهيرة أخرى تحمل عنوان «كنتين دُروارد». (المترجم)

(٣) **التوندرة**: إقليم يقع في أقصى شمال الدائرة القطبية. يحيط بالقطب الشمالي. يمتد من حدود مناطق الغابات الباردة في شمال سيبيريا حتى المناطق التي تغطيها الثلوج الدائمة. مناخه قطبي، وشتاؤه طويل ومظلم. تغطي الثلوج سطحه معظم شهور السنة. صيفه مضيء قصير، لا يتجاوز الشهرين. تتراوح درجات الحرارة فيه ما بين (-٧٠ و٢٠) درجة مئوية. (المترجم)

والسهوب، والجبال، والصحارى، والمحيطات، وتجمع «محصول» المعلومات عن الأرض، وتأتي بالفائدة للناس. وهذا ما يكسب مخترعي الأجهزة الجديدة، والدقيقة، بما فيها مقاييس الجاذبية، احترام الناس، وإجلالهم. ونتحدَّث عن هذا الآن لأن الوقت أزف للانتقال إلى مبادئ جديدة لابتكار أجهزة جديدة لقياس الجاذبية، وحلّ هذه المسألة يقع على عاتق الباحثين الشباب الجدد. وربما أحد ممن سيقرؤون هذا الكتاب. إن هذه الطريق ممتعة، وتتطلَّب موهبة حقيقية، وذهن حادّ الذكاء، ومثابرة، وقوة إرادة. هنا يحتاج الأمر للمتحمسين. فكيف بك أيها القارئ؟ هل يثير هذا اهتماماً لديك؟

على أي أساس يقوم استخدام علم الجاذبية في الجيولوجيا؟

إن علم الجاذبية يعطي الجواب على كثير من الأسئلة المتعلِّقة بدراسة شكل، وبنية الأرض، إذ إنَّ قوى الجاذبية حددت، وبدرجة كبيرة، كلَّ التاريخ الجيولوجي لكوكبنا الأرضي، على مرِّ العصور منذ ولادته ككوكب سماوي، وحتى وقتنا الحاضر. ولا يشكُّ أحد في أن نواة الأرض، وغلافها، وقشرتها إنما ظهرت بمشاركة فاعلة لقوى الجاذبية. هذه القوى تحدد الضغط في الأعماق، والحركة العشوائية لأعماق الأرض، وتراكم الصخور الرسوبية. إن الكثير من التشكُّلات الصخرية ظهر بتأثير الانقسامات الجاذبوية للماغما. كما أن هذه القوى أظهرت تأثيراً على التغيرات في طاقة القشرة الأرضية، وعلى عملية تراكم الترسُّبات، وظهور الجبال، وظاهرة البراكين.

توجد شذوذات جاذبوية على لوحة التوزُّع الطبيعي لقوى الجاذبية على الأرض، وهو التوزُّع المتعلِّق بشكل الأرض، وكتلتها العامّة، ودورانها. وترتبط هذه الشذوذات بتركيب الصخور، والفلزّات التي تشكِّل القشرة الأرضية. إن للصخور، المتنوِّعة في تركيبها، كثافات مختلفة.

فقوّة الجاذبية فوق الصخور الكثيفة (الثقيلة) عالية، وفوق الخفيفة، والأقلّ كثافة، هي منخفضة. ومن هذا نستنتج أنه يمكن بواسطة الخرائط الجاذبوية تحديد بنية الأرض، والبحث عن الخامات، والثروات الباطنية. وهكذا فوق صخور الصف الأساسي، والممتاز كالدياباز، والغابرو، والبيريدوتيت، والبيروكسينيت[١].

تظهر فوق الفلزّات الثقيلة شذوذات إيجابية لقوى الجاذبية، أما فوق الفلزّات الأخفّ فتلاحظ انخفاضات نسبية. مثلاً في كاريليا[٢] فوق الطبقة المسماة «غرانيت راباكيڤا» (وهي طبقة يمكن رؤيتها في سانت بطرسبورغ. إذ تطلى بها واجهات البنايات وتفرش بها الضفاف)، نلاحظ انخفاضاً في مجال قوة الجاذبية بينما تلاحظ شذوذات موضعية موجبة فوق كتل الماغنيتيت (وهو فلزّ حديد غني).

هنا تُنفَّذ الصور، تقريباً، كما هي الحال في المغناطيسية – بنقاط البروفيل (انظر الشكلين ١و٢). وتُختار المسافات بين مراكز التصوير انطلاقاً من مقياس الصورة، الذي يُختار بدوره حسب المسألة المدروسة، وظروف العمل. ويتمُّ تبرير بعض الاختلافات عن الصور المغناطيسية بأن تغيرات مجال قوى الجاذبية لا تقاس بالاستعانة بالمحطات المتغيرة: فذوات الدور الطويل لا تؤخذ بعين الاعتبار، فهي الآن فقط تخضع للدراسة، أما تلك المتعلِّقة بتأثير جاذبية الشمس، والقمر فهي ضئيلة (تماماً كما هو الحال

---

(١) **الدياباز** (من الفرنسية Diabase) والغابر و(من الإيطالية Gabbro) والبيريدوتيت (من الفرنسية Peridotite) والبيروكسينيت (من اليونانية Pyroxenit) هي جميعاً تشكيلات عاتمة من صخور الأعماق اندفعت متداخلة مع القشرة الأرضية Intrusus وأعطت بعد تبرُّدها كتلاً ماغمية. تستخدم في عمليات الرصف والبناء والإكساء.

(٢) **كاريليا**: جمهورية ذات حكم ذاتي ضمن الاتحاد الروسي. تقع في أقصى الشمال إلى الشرق من فنلندا وإلى الجنوب من شبه جزيرة كولا. (المترجم)

مع المحفظة المليئة بالكتب التي نجدها خفيفة صباحاً أما في نهاية يوم العمل تكون ثقيلة جداً. وللغرابة أن القضية لا تتناقض مع هذا التأكيد). وعند تنفيذ صورة دقيقة يمكن الاستعانة بجداول خاصّة بحساب تغيّرات قوى الجاذبية في الشمس، والقمر.

أما الخصوصية الأخرى لقوى الجاذبية فهي مرتبطة بتغيّر حساب مقياس الجاذبية من الصفر مع الزمن. لذلك ينبغي أثناء تنفيذ القياسات الدقيقة تسجيل المراقبات في مراكز التصوير، وتنفيذ القياسات بطريقة خاصّة تسمح بالحصول على دقَّة عالية.

تجري معالجة المواد الحقلية، وحساباتها، إما يدوياً، أو بالاستعانة بالتقنيات الحاسوبية. إن نتائج القياسات لا تعكس ما يهمُّنا من شذوذات، فقط، وإنما تعكس التوزُّع الطبيعي لقوى التجاذب على الأرض، وهي معروفة في كل نقطة، ويمكن حسابها ببساطة إذا كانت إحداثيات النقطة معروفة. غير أن المعطيات التي نحصل عليها مرتبطة بارتفاع مركز الملاحظة، وبتأثير شكل تضاريس الأرض. وهذا ما يستوجب إجراء تصحيحات خاصّة تسمّى تخفيضات. وهي مختلفة، ومتنوعة، ولا تعطي نتائج واحدة. وعلينا أن نشير إلى أنه يجب اختيار طريقة التخفيض المناسبة للظروف، والمسائل الخاصّة بحالة بعينها. ونشير هنا إلى أن موضوع التصحيحات مازال يتطلَّب جهداً إضافياً، وأفكاراً جديدة. وسيتوجَّب على الجيل القادم من الجيوفيزيائيين حلُّ هذه المسألة المعقَّدة. إن موضوع التخفيضات ذو أهمية فائقة، وهو موضوع معقَّد جداً، وممتع جداً.

يمكن بوساطة النتائج المصحَّحة للصور، المأخوذة بوساطة مقاييس قوى الجاذبية، رسم خارطة شذوذات قوى الجاذبية، لتأتي بعد ذلك مرحلة التفسير الجيولوجي للنتائج المسجَّلة. يشبه عمل المفسِّر عمل المحقّق الذي يكشف عن جريمة غير واضحة. إذ ينبغي على المحقّق بيان أسباب الجريمة،

وإظهار دور، وعلاقة كل من اشترك بها، والبحث عن الأدلة، وإقحام الوسائل التقنية المختلفة، واستخدام الطرائق الاستنتاجية، والاستقرائية لتحليل ما حصل عليه من معطيات، ودراسة ملفات تصف جرائم مشابهة. والمفسِّر يحاول وضع أسباب ظهور الشذوذات، ودور وعلاقة العوامل المختلفة التي تحدد طبيعة حقل قوى الجاذبية، وأيضاً يستعمل الطريقة الاستنتاجية، والطريقة الاستقرائية في التعامل مع التحليل، يبحث، ويستعمل البراهين على ما يستخلصه من نتائج (المعطيات عن كثافة الفلزّات، والحسابات الرياضية)، مستخدماً التقنيات الحديثة، وطرائق التوافق. فطرق تحليل الشذوذات الجاذبوية، والمغناطيسية متشابهة جداً.

إن التعقيدات في تفسير شذوذات قوى التجاذب مرتبطة مع ما ذكرناه سابقاً من المعالجة الجيولوجية لمعطيات الاستكشاف المغناطيسي. يضاف إلى ذلك أنه في عملية التأويل هذه يجب الأخذ بعين الاعتبار أن كثافة الصخور ترتبط ارتباطاً وثيقاً بتاريخ تشكلها. وهكذا ففي حالة التركيب الواحد للصخور يمكن لكثافاتها أن تختلف من حيث مكان تشكُّل هذه الصخور. أهو في العمق أم في مكان قريب من السطح؟ أتعرَّضت هذه الصخور لتأثيرات ما أم لم تتغير منذ لحظة نشوئها؟ بالإضافة إلى هذا كله فإنَّ سماكة القشرة الأرضية تؤثر أيضاً على مجال قوة الجاذبية، والتي، بدورها، تعكس قدمها؛ يجري الحديث هنا عن حالة التوازن في القشرة الأرضية، والغلاف الذي يغلِّف الماغما، والتي كما لو أنها تسبح فوق طبقة أكثر كثافة، وانسجاماً. وإذا ما اختلَّ هذا التوازن عن طريق حركات عشوائية، أو ظهور، أو ذوبان تروس جليدية ضخمة، أو غيره، فإن ظاهرة التوازن تعود بطريقة التسامي، أو هبوط أجزاء هائلة من القشرة الأرضية. وقد تمَّ اكتشاف هذه الظاهرة على أرضية انحراف الشاقول.

صدف أن وقعت عيناي في إحدى المجلات على مقطع شعري فيه الكثير من الفكاهة: «الوزن لا يغير اتجاه شاقول المعمار». يبدو هذا المقطع من النظرة الأولى عاكساً لحقيقة واقعية، لكن صياغته من وجهة النظر العلمية غير دقيقة. فليس واضحاً عن أي وزن يجري الحديث هنا. فإذا ما كان الوزن المقصود هنا هو الثقل المعلَّق بطرف خيط الشاقول، أو المطمار، فإن العبارة ليست دقيقة تماماً، لأن تعليق وزن خفيف جداً قد يسمح لحركة الهواء بحرف الشاقول عن وضعه. ويمكن لنا أن نفترض أن الحديث يدور عن وزن الأشياء المحيطة. وحينها يكون هذا التأكيد خاطئاً تماماً، حسب ما يؤكده الجيوديزيون. فقد سجلوا قرب قمة الهملايا انحرافاً شاذّاً للشاقول، غير متوقع أبداً. فالوزن المعلَّق بالشاقول انحرف ليس نحو الجبال الهائلة، وإنما في الجهة الأخرى. وهذا ما شكَّل أساساً للفرضية الآتية: في منطقة القمة في الهملايا تضخَّمت القشرة الأرضية، الخفيفة نسبياً، تحت تأثير العمليات الكبيرة التي نتجت عنها الجبال. وما دامت القشرة الأرضية تبدو كما لو أنها تسبح في الطبقة الأدنى، ذات الكثافة الأكبر، فإن للقمم الجبلية «جذور» تبعد المواد الموجودة تحت القشرة. نتيجة لهذا سينحرف الشاقول بعيداً عن الجبال، أما الشذوذات الموضعية السالبة لقوى الجاذبية فتتوافق مع القمم. وعموماً فهذه الفرضية قد تمَّ تأكيدها على الرغم من أن الظاهرة نفسها تبدو أكثر تعقيداً مما افتُرِضَ في البداية.

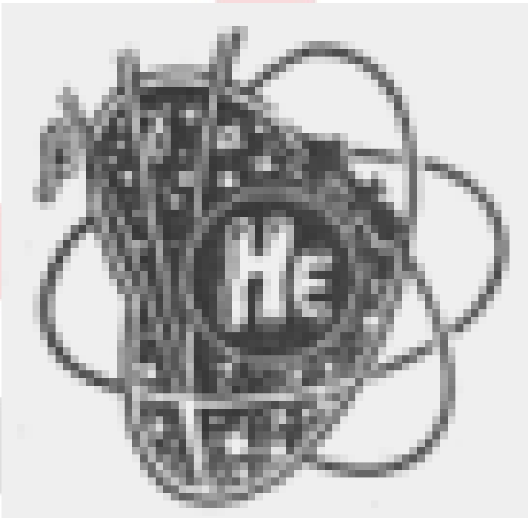
وهكذا ظهر أنه يمكن من خلال خرائط الشذوذات في قوى الجاذبية، الحكم على حدوث عمليات ظهور الجبال في الماضي، وماذا كانت خصائصها. وإذا ما تذكَّرنا حديثنا السابق عن طريقة المستحاثات المتحجِّرة، والمغناطيس لتحديد عمر الخامات يمكننا الخلوص إلى نتيجة مفادها أن الحقول الجيوفيزيائية، والخصائص الفيزيائية للخامات تحمل إلينا آثار العمليات القديمة التي أدت إلى تشكُّل الأرض، وآثار تاريخ تطورها أيضاً.

وهكذا يعكس مجال قوة الجاذبية بنية الأرض، وتاريخها. على أن استيعاب المعلومات التي تحملها المعطيات الجاذبوية هو أمر في غاية الصعوبة، ولكن النتائج يمكن لها أن تكون ثمينة بشكل استثنائي للعلماء في المجالات التطبيقية.

وهكذا شدَّ العلماء قوة الجاذبية إلى عربة الأبحاث الجيولوجية، هذه القوة المزعجة، والمعقَّدة، والموجودة في كل مكان، والقادرة على أشياء يصعب تحديدها، بما في ذلك توجيهنا في الكثير من حركاتنا، واستخداماتنا الحياتية، فضلاً عن استخدامنا لها في سبر أغوار الطبيعة والكشف عن الكثير من أسرارها.

(٧)

أسرار الهليوم والجيوفيزياء النووية



- كلّ فلزّات المعادن تصدر إشعاعات.
- نبوءة ڤرنادسكي.
- الساعات الجزيئية.
- اكتشافات مسجَّلة.
- مستكشف غاما الطائر.
- الموازين الفضائية.

كتب ڤ. إي. ڤرنادسكي عن إمكانية، بل وجوب الحديث عن العلم الجديد المسمّى علم الراديولوجيا، وهو علم يدرس الخواصّ الإشعاعية لكوكبنا الأرضي، والظواهر الإشعاعية الخاصّة، والمميّزة التي تحدث فيه وله.

النشاط الإشعاعي هو خاصيّة تمتلكها نوى ذرات عناصر محددة أثناء التحوُّل ذاتياً إلى نوى ذرات عناصر أخرى. متحطمة، أو متلاشية حسب قوانين محددة، ومعروفة. وهذه الخاصيّة تقتصر على النوى التي تضم عدداً كبيراً من البروتونات. مثل هذه النوى تكون غير مستقرة، وتنقسم بسرعة. وهذا الانقسام أكثر نشاطاً عند العناصر التي لها رقم تسلسلي في الجدول الدوري للعناصر، الذي وضعه مندلييف، مساوٍ لـــ ٩٢ فما فوق، أي ابتداءً من اليورانيوم. أثناء الانتقال إلى العناصر الأخرى تلاحظ إشعاعات نووية، وهذا ما يمثِّل إشارة لوجود العناصر المشعَّة في الطبيعة.

نظَّم ڤرنادسكي في عام ١٩٠٩م. أول بعثة لدراسة الخواصّ الإشعاعية للفلزّات، والصخور، وهذا التاريخ يعتبر بداية للأعمال الجيوإشعاعية في روسيا. فهم ڤرنادسكي أن دور الطاقة النووية في الجيولوجيا سيكون عظيماً، ودعا إلى تطوير شامل للأبحاث الجيوإشعاعية، وشكَّل البعثات الأولى للبحث عن مناجم اليورانيوم.

ولدت الجيوفيزياء النووية في مهد العمليات الجيولوجية النووية. وهي تعتمد في نشاطها على التحولات النووية التي تحدث من التأثير المتبادل للأجسام الأولية الدقيقة، ونوى الذرَّات.

إن اكتشاف النشاط الإشعاعي للعناصر جاء نتيجة المراقبة الدقيقة، والمستمرّة للطبيعة الجامدة.

وجد الزوجان بيير كوري، وماري سكلودوفسكايا - كوري[(١)] أثناء دراستهما للخواصّ الإشعاعية لفلزّات المعادن المختلفة، أن اليورانيوم يترك آثاره على لوحة حسَّاسة. كما وجدا في الفلزّات المصدرة للإشعاع عناصر

(١) **بيير كوري** Curie (١٨٥٩–١٩٠٦): فيزيائي وكيميائي فرنسي. اكتشف الراديوم بالاشتراك مع زوجته ماري سكلودوڤسكايا – كوري البولونية التي ولدت في ڤرسوڤيا (١٨٦٧–١٩٣٤). نالا معاً جائزة نوبل عام ١٩٠٣. واكتشفت ماري البولونيوم ونالت بذلك جائزة نوبل ثانية ١٩١١م. (المترجم)

مشعَّة كالبولونيوم، والراديوم. وهذان العنصران، وإن كانا يتواجدان بكميات ضئيلة في الفلزّات، إلا أنهما يتمتَّعان بخواصّ فائقة في إصدار الأشعة. هذه الخواصّ ساعدت على وضع سلسلة نظريات الفيزياء النووية.

إن الحقائق العلمية التي تمَّ التوصُّل إليها مدرجة في كتب الفيزياء المدرسية. أما أهمية ما اكتشفه الزوجان كوري فتزداد وضوحاً، وتكشف مضامين جديدة فيها يوماً بعد يوم. ونحن هنا نواجه، عملياً، الباحثين في قضايا الطبيعة الجامدة، وهؤلاء يمكننا أن نطلق عليهم، بالإضافة إلى اسم الفيزيائيين، اسماً جديداً متوافقاً مع تسمية الباحثين في بنية ونشاط الأجسام الحيَّة (البيونيك) هو (الجيونيك) أي الباحثين في بنية ونشاط الأجسام الجامدة. والجيوفيزيائيين هم بدرجة ما (جيونيكيين). فهم يكتشفون الظواهر الجديدة في الطبيعة الميتة، التي يمكن للبشرية نمذجتها، والاستفادة منها في حلّ مسائل هي في غاية التنوُّع والتعقيد.

أصبح جلياً، منذ زمن البعثات الأولى التي نظمها ڤرنادسكي، أن كل الفلزّات لها نشاط إشعاعي، وإن اختلفت درجته، وأنها كلها تصدر الحرارة. واليوم نؤكد أن الخواصّ الإشعاعية للفلزّات قد تمَّت دراستها بشكل كاف وممتاز. وهذه الفلزّات ذات نشاط إشعاعي متنوِّع، وهو متدرِّج من العالي إلى المنخفض. وتتمتَّع خامات اليورانيوم، والراديوم، والثوريوم بأعلى نشاط إشعاعي معروف، ويقع على رأسها فلزّ اليورانيوم. وتتميّز فلزّات محددة بنشاط أقل كالغرانيت مثلاً. تتصف خامات الحجر الرملي، والصلصال، والحجر الكلسي، والأملاح بنشاط إشعاعي ضعيف جداً.

في المرحلة الأولى لدراسة النشاط الإشعاعي للفلزّات أُجريت حسابات دقيقة أظهرت أنه في الطبقة القريبة من السطح تكون طاقة الانقسام الإشعاعي كافية لتغطية مصاريف الإشعاع الإصداري للطاقة الحرارية للأرض. وليس فقط لإصدار الحرارة، وإنما لتغطية حاجات الطاقة المصروفة على العمليات الجيولوجية.

إن للفلزّات والصخور خواصّاً إشعاعية مثيرة للاهتمام. ومن أهمِّها على الإطلاق، ثبات ودوام سرعة انقسام العناصر المشعَّة، وعدم تأثرها بالعوامل الخارجية. ويمكن استخدام الانقسام الإشعاعي كمعيار زمني. وهذا حدس تحدث عنه كل من رذرفورد[1] وبيير كوري في بداية القرن العشرين الماضي. وعلى قاعدة هذا الحدس بدأ كل من ڤرنادسكي، و آ. هولمز، وهو إنكليزي يعمل في دراسات اختبار الطبيعة، بدراسة عمر الفلزّات، وخامات الصخور. إن استمرار سرعة انقسام العناصر المشعَّة كانت أساساً لدراسة عمر الخامات الصخرية، وهذا علم عن الترتيب الزمني الجيولوجي المطلق . إن العناصر المشعَّة الموجودة في الخامات الصخرية تخضع لناموس الانقسام. ونظائر اليورانيوم، والبوتاسيوم، والثوريوم، والراديوم تتحوَّل بانقسامها التدريجي إلى عناصر أخرى مثل الرصاص، والهليوم. وهكذا. ونظير اليورانيوم -٢٣٥ يتحول إلى نظير الرصاص -٢٠٧، ونظير اليورانيوم -٢٣٨ يتحول إلى نظير الرصاص -٢٠٦. وهذه العملية تحتاج لفترة زمنية هائلة لإتمامها. فمثلاً تحتاج نصف ذرَّات اليورانيوم للانقسام إلى ٧٠٠ مليار سنة.

إذا أجرينا تحليلاً دقيقاً للتركيب الكيميائي للفلزّ فإنه يمكننا تحديد كمية الرصاص، أو الهليوم الذي ظهر فيه بعد تشكُّله، كما يمكننا بيان الكمية غير المتحللة من العنصر. وقد وجد أنه يتمُّ استحصال ١غ من الرصاص من ١٠٠غ من اليورانيوم خلال ٧٩ مليار سنة. ولنفرض مثلاً أن التحليل الكيميائي للفلزّ أظهر أنه يتواجد فيه ٨،٧ غ يورانيوم، و ١،١٢٥غ رصاص، حينها يحدَّد عمر الفلزّ بـــ ١٠٠ مليار سنة.

يميّز العلماء طرق الترتيب الزمني الجيولوجي المطلق بحسب النواتج النهائية للانقسام، فمنها الرصاصية، والهليومية، والأرغونية، والكالسيومية.

---

(١) **إرنست رذرفورد** Rutherford (١٨٧١–١٩٣٧): فيزيائي إنكليزي. درس الإشعاع الذري. واقترح أنموذجاً لبنية الذرة سمي فرضية رذرفورد. نال جائزة نوبل عام ١٩٠٨م. (المترجم)

وقد اعتمد علماء العهد السوفييتي السابق، كما العلماء الروس حالياً، طريقة البوتاس – أرغون لتحديد عمر ظهور الخامات الصخرية. وهي طريقة تقوم على دراسة نظائر البوتاسيوم ذي الكتلة الذرية ٤٠، الذي يتحول أثناء الانقسام الإشعاعي إلى غاز الأرغون، الذي له الكتلة الذرية نفسها ٤٠.

علينا الإشارة إلى أنَّ الجيولوجيين بدراستهم لقى الحفريات يستطيعون تحديد عمر الفلزّ، ويتمُّ ذلك بشكل نسبي، فقط، كما يستطيعون تحديد الفلزّات الأكثر «شباباً» أو أيها ظهر أولاً.

إن الوضوح في تتالي طبقات الفلزّات الصخرية المنضَّدة يساعد في وضع تدريجة نسبية تظهر تتابع الأحقاب الزمنية، وحلول أنواع من العالم الحي محل أخرى. يقول اختصاصيو الحفريات أنهم كثيراً ما يشبهون المؤرخين الذين يستطيعون البرهان بكل دقَّة على أن خليفة يوليوس قيصر هو أغسطس، ثم جاء بعده كارل العظيم، فكارل الخامس، ففريدريك الثاني، فنابوليون الأول، ثم ويلهلم الأول، لكنهم لا يملكون أيَّة وسائل لتحديد السنوات التي مرّت منذ بداية حكم أحدهم، وحتى اعتلاء الآخر للعرش.

إن معطيات التحليل الإشعاعي حددت عمر الفلزّات الصخرية على مختلف أنواعها. وتمَّ تحديد عمر فلزّات العصر الديكامبري[١] في شبه جزيرة كولا في أقصى الشمال الروسي فهو حوالي ٢ مليار سنة، ولقشرة الأرض ٣ -٤ مليارات سنة، ولكرتنا الأرضية حوالي ٦ مليارات سنة. (انظر الجدول الآتي). ويصعب جداً على الإنسان الإحساس بالتبدُّلات الزمنية البالغة مليارات السنين.

وردت في الكتب القديمة أسطورة صغيرة خاصّة بالتعامل مع الوقت. تقول الأسطورة إنّه في مملكة قصيّة يوجد جبل من الماس. يأتي طائر إلى هذا الجبل مرّة كلّ ألف سنة لتنظيف منقاره. عندما سيزال أديم الأرض بمنقار

---

(١) وهي أقدم طبقات الفلزّات الصخرية ويشكل الزمن المطابق لظهورها ٧/٦ التاريخ الجيولوجي للأرض. (المترجم)

الطائر ستبدأ أولى لحظات الدهر الأبدي. والأرقام التي تحدّد مراحل نصف انقسام العناصر الإشعاعية تعتبر لحظات أبدية مميّزة.

في بداية القرن التاسع عشر كتب عالم الطبيعة الفرنسي الشهير ج. لامارك[١]: «لا يمثِّل الزمن بالنسبة للطبيعة شيئاً، ولا يمثِّل أيَّة مشكلة بالنسبة لها، فهي تملكه دائماً، وهو تحت تصرُّفها، وبالنسبة لها هو وسيلة لا حدود لها». ومع كل هذا فالجيوفيزيائيون يعملون بدأب، وتوتر في مخابرهم لتحديد عمر فلزّات الصخور المختلفة، والمتنوِّعة، وجعل تصوُّر الإنسان عن الزمن أعمّ، وأشمل.

يعود ابتكار الطرق الإشعاعية في البحث عن المناجم في روسيا إلى عشرينيات القرن الماضي، وقد تمَّ ذلك بمبادرة من ڤرنادسكي وتڤيرسكي. وقد ساهم في هذا العمل كل من الفيزيائيين والجيولوجيين على السواء. وهذه الطرق مخصَّصة للبحث عن الفلزّات المشعَّة، وخاصّة فلزّات اليورانيوم. كما أنها مخصصة لرسم الخرائط الجيولوجية لأماكن توضُّع الفلزّات الصخرية المختلفة من حيث خواصّها الإشعاعية، والقائمة على القوانين المكتشفة للانقسام الإشعاعي.

من المعلوم أن جسيمات ألفا (α) يمكن تصويرها بسهولة، حتى بوساطة ورقة من رقائق الألمنيوم. وتتشكّل نوى مشحونة بشحنة إيجابية لنوى الهليوم.

وجسيمات بيتا (β) هي سيل من الإلكترونات يمكن تفاديه بوساطة صفيحة رقيقة من الألمنيوم تبلغ سماكتها ٠،٥ سم. أما أشعة غاما (Γ) فتتمتَّع بخاصّية خارقة وهي النفوذ واختراق الأجسام التي لا تضاهى، لكنها لا تحمل شحنات كهربائية، وتتألَّف من أمواج كهرطيسية قصيرة جداً. ويقع طول موجة الأشعة غاما التي يعدُّ إطلاقها من طبيعة العناصر المشعَّة، ضمن مجال ما بين [١،٢. ١٠ $^{-٨}$ - ٤،٧ . ١٠ $^{-١١}$] سم.

---

(١) **جان باتيست لامارك** Lamarck (١٧٤٤ – ١٨٢٩): من علماء الطبيعة الفرنسيين. ألَّف «دائرة المعارف النباتية» و«التاريخ الطبيعي للحيوانات اللافقرية» ١٨١٥ – ١٨٢٢ شرح فيه نظرية التطور المعروفة باسمه. (المترجم)

الجدول رقم (٢)

يبين التقسيمات الزمنية والتدريجة التقريبية لأهمِّ الأحداث

في تطوُّر الحياة وتواريخها.

التقسيمات الزمنية		الأشكال المميّزة للعالم العضوي (الحي) (حسب معطيات علم حفريات الآثار)	الامتداد الزمني للعصر(حسب علم الإشعاع) مليون سنة
الحقبة	العصر		
الجديدة امتدادها ٦٧ مليون سنة	الرباعي (أنتروبوجي)	ظهور الإنسان. تطور الثدييات والطيور والأسماك والزواحف تطور العالم النباتي المعاصر	١,٥
	النيوجيني	القردة الشبيهة بالإنسان	٢٣,٥
	الباليوجيني	الثدييات البدائية المنقرضة بحلول النيوجيني. انقراض الديناصورات	٤٢
الثانوية امتدادها ١٦٣ مليون سنة	الطباشيري	النباتات الملونة	٧٠
	اليوري	ازدهار الديناصورات. ظهور الطيور	٥٨
	الترياسي	الديناصورات. ظهور الثدييات. الصنوبريات	٣٥
	البيرمي	الزواحف الشبيهة بالثدييات	٥٥
الأولية امتدت ٣٤٠ مليون سنة	الكربوني - الحجري	نباتات بدائية كثيفة. برمائيات	٦٥ - ٧٥
	الديڤوني	ظهور جدود السرخسيات، ظهور البرمائيات	٦٠
	السيلوري	نباتات وحيوانات برية	٣٠
	الأوردوڤيك	أسماك بدائية	٦٠
	الكامبري	أعشاب مائية. باكتيريا. مفصليات الأرجل	٧٠
الديكامبري		حيوانات بحرية بدائية	١٠٠٠
		أعشاب مائية خضراء	١٠٠٠
		باكتيريا .أعشاب مائية زرقاء مخضرَّة	١٠٠٠

أثناء التطبيقات العملية للأعمال الجيوفيزيائية غالباً ما تستخدم أشعَّة غاما (г) التي تمتصُّها طبقة الطمي ما بين ١ – ٢ متر.

إن البشر باعتمادهم على النواميس الأساسية للطبيعة يأتون، دائماً بالجديد. فهاهما اكتشافان، يتعلقان بمراقبة الطبيعة الجامدة، ودراسة الهليوم الطبيعي.

في السجل الرسمي للاختراعات في الاتحاد السوفييتي السابق لعام ١٩٦٨ سُجِّل اختراع تحت اسم «قانون توزُّع تركيز الهليوم في القشرة الأرضية»، وقد أنجز هذا العمل مجموعة من الجيوفيزيائيين من كل من سانت بطرسبرغ وموسكو. وعلى رأسهم ف. س. غليبوفسكايا، و آ. غ. غراماكوف، و ف. ب. ياكوتسيني، و غ. ب. تافييف، و آ. ن. إيريمييف، و د. م. شرباكوف وزملاؤهم. أما الاكتشاف الثاني فمسجَّل في السجل تحت اسم «قانون توزُّع تركيز نظائر الهليوم في الأرض» عام ١٩٧٤ وقد أنجزه علماء سان بطرسبرغ: ب. آ. ماميرين، وإي. ن. تولستيخين، وغيرهما.

الهليوم عنصر نادر على الأرض. وهو أندر من الذهب. وقد تبيَّن أن معرفة قوانين توزُّع الهليوم تلعب دور المفتاح لمختلف طبقات الثروات الباطنية. وهذا عائد إلى أنه منذ الأزمان السحيقة لوجود كوكبنا الأرضي، وأثناء الحركات العشوائية الهدَّامة، تظهر في الانكسارات وقرب البراكين أنواع مختلفة من الخامات. وتظهر الكميات الأساسية من الهليوم في أعماق الأرض على حساب انقسامات ألفا (α) للعناصر الإشعاعية التي تدخل في تركيب الفلزّ. بعد انفصاله من الشبكات الكريستالية للفلزّات يسعى الهليوم الخفيف صاعداً عبر طبقات الفلزّات الصخرية السميكة إلى سطح الأرض وبعدها إلى الفضاء. وهذا ما يسمّى زفير الهليوم الذي تطلقه الأرض، وكان ڤرنادسكي قد تحدث عنه سابقاً.

الهليوم «غاز شمسي» اكتشف على الشمس التي تشعُّ، طوال الوقت سيلاً من الجسيمات في الفضاء، وهو ما أُطلِق عليه اسم «الريح الشمسية».

الهليوم غاز خامل، لا يدخل في الظروف الطبيعية، في أي تفاعل مع أي من عناصر جدول مندلييف الدوري. والهليوم بانطلاقته إلى السطح يسلك

الطريق الأسهل. وهذه الطريق، بالنسبة له، هي الشقوق، والانكسارات. وتتواقت كتل الخامات مع الانكسارات، ولهذا يقول الجيولوجيون إنَّ الانكسارات تتحكَّم بالخامات. بعد هذا يصبح كل شيء واضحاً. فبمراقبة سطح الأرض ذي التركيز المرتفع من الهليوم، يمكن بيان الحركات العشوائية الهدامة التي تمثِّل أملاً كبيراً في البحث عن الخامات مستقبلاً. ظهرت هذه الفكرة في أربعينيات القرن الماضي. ولكن وقتاً طويلاً مرَّ قبل أن يتمَّ الاعتراف بها. واقتضى الأمر إجراء تحاليل كثيرة قبل إعطاء تأكيد نهائي بأن التركيز المرتفع للهليوم، الذي تأتي به مياه، أو غازات الأعماق الموجودة في أعماق الأرض، يتحكَّم فعلياً بالانكسارات. وقد تمَّ استنباط طرق لإجراء الأبحاث تعتمد على صورة الهليوم، وأجهزة فائقة الحساسية لإجراء التحاليل.

إن طبقات العناصر النادرة، والخامات الحاوية على الذهب، والنحاس تنجذب نحو مناطق الانكسارات التي تظهرها صورة الهليوم. والهليوم نفسه يتمتَّع بمكانة هامة في الاقتصاد. إن مكامن الغاز الطبيعي المحتوي على نسبة عالية من الهليوم نادرة جداً، وتعدُّ عملية العثور عليها أمراً في غاية الصعوبة. لكن علماء العهد السوفييتي تمكَّنوا من العثور على مكامن الهليوم على امتداد الأرض السوفييتية حينها، وبالاستعانة بصورة الهليوم نفسه. لكن دراسة الهليوم لم تكتمل بعد. فقد تبيَّن أن الهليوم يخفي في نفسه سرَّاً آخر، وهو ما يتعلَّق بنظائره.

في نهاية ثلاثينات القرن الماضي توصَّل العلماء إلى أن للهليوم نظيرين اثنين. الهليوم – ٣ والهليوم – ٤. ويتميّز أحدهما عن الآخر بنيترون واحد. فالهليوم -٤ يملك نيتروناً زائداً عن الهليوم -٣ وفي نفس الوقت تمَّ التوصل إلى أن الهليوم -٣ قليل جداً. وهو أقل بكثير من قريبه الأثقل نسبياً. إلا أن دراسة العلاقة بين كلا النوعين من الهليوم الثقيل، والخفيف لم تنجز إلا بعد

اختراع جهاز خاصّ يسمّى مقياس الطيف المغناطيسي الرنان، الذي يتيح تحديد بضعة آلاف من ذرّات عنصر ما بين مليارات الذرّات لعنصر آخر. ونتيجة للتجارب أمكن وضع قانون هام يقول: في الجو المحيط بالأرض تكون نسبة الهليوم الخفيف أقل من الثقيل بـــ ٧٠٠ مرة، أما في القشرة الأرضية فبـــ ٣٠ مليون مرة. وقد كانوا يعتبرون أنه مع التعمُّق في باطن الأرض تصبح كمية الهليوم الخفيف أقلّ. لكن التطبيقات العملية قالت بخلاف ذلك. ونذكِّر مرة أخرى بأن الأرض كرة ذات بنية طبقية:

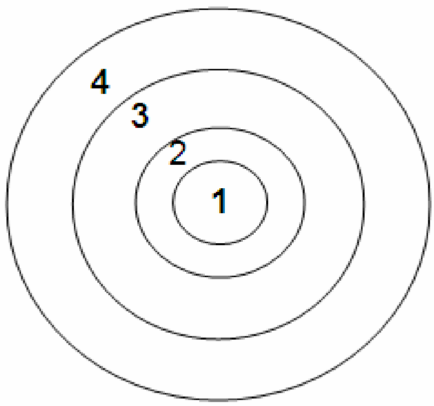
١ - النواة.

٢ - الرداء.

٣ - الغلاف.

٤ - الأديم (قشرة الأرض الرقيقة الصلبة).

والشكل التالي[١] يوضح كيفية توضُّع هذه الطبقات فوق بعضها.



توصَّل الفيزيائيون في سانت بطرسبرغ إلى أن تناسب النظيرين الهليوم– ٣ والهليوم– ٤ اللذين يشبعان طبقة الرداء، مختلف جداً. ففي

---

(١) الشكل من وضع المترجم، ولم يرد في النص الأصلي. (المترجم)

هليوم الرداء يكون النظير الخفيف هليوم -٣ أكثر منه في هليوم القشرة الرقيقة بـــ ١٠٠٠ مرة. وفي غضون ذلك افترض العلماء أنه كلما اقتربنا أكثر من مركز الأرض زادت نسبة وجود نظائر الهليوم الثقيل، ومع التعمُّق أكثر يزداد محتواها. لكنه تبين أنه ضمن حدود الرداء يبقى تناسب النظائر ثابتاً.

إن هذه الاكتشافات توضح لحظات منفصلة من تاريخ تشكُّل الأرض. فوجود الهليوم في رداء نواة الأرض يدلُّ على أن حرارة الأرض أثناء تشكُّلها لم تكن عالية كثيراً، وإلا لكان الهليوم انفلت صاعداً إلى الأعلى، ما يعني، بالتالي أن كوكبنا هذا لم يكن كرة منصهرة. وأن نسبة الهليوم الثابتة في رداء نواة الأرض تشهد على تجانس كبير في تركيبها. إن بين جسيمات «الريح الشمسية» الكثير من الهليوم -٣. وحسب افتراضات العلماء فإن الهليوم الشمسي هو ما تشبَّعت به المادة الكونية الأولى التي هي عبارة عن الغبار الكوني، وأحجار النيازك، اللذين تكوَّن منهما كوكبنا الأرضي. وهكذا يبدو أنه منذ ٤،٦ مليار سنة يوجد الهليوم محفوظاً في رداء نواة الأرض، في أعماق الكوكب.

الهليوم -٤ ذو منشأ إشعاعي. وهو يتشكَّل عند انقسام النوى الموجودة في أعماق الفلزّات المشعَّة كاليورانيوم، والثوريوم، اللذين يوجد معظمهما في القشرة الأرضية، التي غالباً ما يتواجد فيها الهليوم -٤، ولكن هنا يظهر، أيضاً، وبنسبة كبيرة، ما نسميه «زفير الهليوم» من قبل كوكبنا الأرضي، ومن هنا يسهل على الهليوم التمركز في الجو المحيط، ما يشكِّل سبباً في تغيُّر تناسب الهليوم الخفيف، والثقيل. في نفس الوقت ستكون عملية تسامي الهليوم -٣ إلى السطح أكثر تعقيداً وصعوبة. ويضاف إلى الهليوم -٣ الموجود في رداء نواة الأرض الهليوم -٤ الناجم عن انقسام الفلزّات النشطة إشعاعياً. وبهذا يُفسَّر الناموس الطبيعي الذي تمَّ اكتشافه.

إن النسبة ما بين نظائر الهليوم، الخفيف منها والثقيل، تستخدم جيداً من قبل الجيولوجيين، فالهليوم يتحكَّم بالانكسارات. ولكن إطلاق هليوم الأعماق وسط هذه الانكسارات مرهون بالنسبة ما بين النظائر. هناك مقاييس خاصّة تجمع ما بين تركيب النظائر، ووجود أنواع معينة من خامات الثروة الباطنية.

الجدول (٣)

يبين نسب العناصر المشعَّة في الفلزّات الصخرية

الفلزّ	يورانيوم U, g/T	ثوريوم Th, g/T	^{40}K, %
البازلت	0,9	4,2	0,75
الغرانيت	٣ - ٥	13,0	4,4
الحجر الكلسي	1,3	1,1	-
النفط	١٠٠	0,0005	-

اقتضت الحاجة ترتيب عدد كبير من البعثات، وأخذ مئات الآلاف من العينات من أعماق مختلفة في كل مناطق الكرة الأرضية، وإجراء تحليلات لمواد بركانية ونيازك. خلال هذا كله مرَّ الباحثون على كل المخترعات التي كانت مسجَّلة حتى تاريخه. وهكذا، وخطوة بعد خطوة، وباستمرار تعمَّق تصوُّرنا عن الهليوم ودوره في الطبيعة، ويبدو أن حجم هذا لا يتعدى كونه خرزة من قلادة أسرار الطبيعة.

سنتحدث الآن عن الأعماق، والأشعة الفضائية، وعن كيفية استخدام هذه الأشعة في تحديد كثافة الفلزّات الصخرية، دونما اختيار أية عيِّنات، وأخذها من مكان وجودها، وإنما يتمُّ ذلك في مكان توضُّعها الطبيعي. إن الأشعة الفضائية الناجمة عن طاقات كبيرة تقع على الأرض، وتخترقها حتى أعماق كبيرة، ربما مئات الأمتار، وأكثر. وكلما كان الفلزّ الصخري أكثر كثافة استطاع امتصاص

الأشعة الكونية بقوة أكبر. فإذا ما تمَّ إدخال جهاز يقيس قوة الأشعة الكونية، أمكن تكوين تصوُّر عن كثافة الفلزّات في منجم ما. وبالاستعانة بالأشعة الكونية يمكن تحديد كثافات الفلزّات، أيها أكثر، وأيها أقل. ومعرفة كثافة الفلزّات تسهّل عملية التنبؤ بالشذوذات الزلزالية، وتفسيرها.

إن الفلزّات المشعة الموجودة في الأرض تصدر أشعة غاما (γ)، ومن الجدول (٣) يتضح أن النشاط الإشعاعي للبازلت، والغرانيت، والنفط مختلفة فيما بينها تماماً. وهذا ما يستفاد منه جيداً أثناء تطبيق أعمال البحث والتنقيب.

لقيت طرق القياس الإشعاعي تطويراً محدداً لتناسب ضرورات التنقيب عن خامات اليورانيوم. وتمَّ ابتكار طرق جديدة في البحث تؤمِّن التنقيب عن خامات اليورانيوم وتساعد في رسم الخارطة الجيولوجية التي تُحمَّل عليها مناطق انتشار الفلزّات الصخرية ذات الخواصّ الإشعاعية المختلفة. وصممت أجهزة خاصّة برصد أشعة غاما (γ)، وتسجيلها في أماكن تواجدها في الطبيعة. ومن المهم جداً معرفته توافق خواصّ أنواع محددة من الخامات، لدراسة أنواع العينات الجيولوجية. بكلمات أخرى يجب معرفة الطيف الطاقي لأشعة غاما(γ). نفِّذت هذه القياسات في البداية بواسطة مقياس غيهر المتغير، والمعروف جيداً في الفيزياء. وفي نهاية خمسينيات القرن الماضي ظهرت مقاييس متغيِّرة سُمِّيت حسَّاسات وامضة. وبدأ استعمال هذه الحسَّاسات لرصد أشعة غاما(Γ)، الصادرة عن عناصر الثوريوم، واليورانيوم، والبوتاسيوم. تصنع الحسَّاسات الوامضة اليوم من بلورات متنوعة جداً من الزنك الكبريتي، والڤولفرام (التنغستين)، والكالسيوم، والصوديوم اليودي، والسيزيوم اليودي، وغيرها. هذه البلورات تتمتَّع بخواصّ فيزيائية، أو معدنية. فهي تصدر تحت تأثير أشعة غاما(γ) ومضات ضعيفة تسمّى لمعان لحظي. وهذا اللمعان يتصيده حسَّاس ضوئي، ويحوِّله إلى تيّار كهربائي، وبعدها يتمُّ تكبيره بجهاز

مضاعفة الصور. مثل هذه الأجهزة تصمَّم بأشكال مختلفة: فمنها الأجهزة المخصّصة للعاملين الذين يعملون دون الاعتماد على وسائط نقل، أو انتقال، أو الأجهزة المخصّصة للسيارات، أو للطائرات السمتية (المروحيات)، أو الطائرات العادية. وتستخدم بلورات الصوديوم اليودي كحسَّاسات ومضية في تجهيزات الطائرات، والمروحيات. والبلّورات نفسها شفَّافة حتى ليخيَّل إليك أنها ماء، لكنه ثقيل جداً حتى ليستحيل رفعه.

يتكيَّف حسَّاس البلّورة مع خواصّه المميّزة على النحو الذي يقوم فيه بتسجيل إشعاع محدَّد. والجهاز الجديد أطلق عليه الفيزيائيون اسم مقياس تحليل الطيف من الجو، ويضيفون إلى اسمه كلمة «ميداني» عندما يجري الحديث عن منتج جيولوجي، وذلك لأنه مخصَّص للعمل في الإرساليات، والبعثات. ويتيح هذا الجهاز قياس طاقة أشعَّة غاما، والتي يمكن من خلالها تحديد متوسط الكميات التي تحتوي عليها مساحة ما من اليورانيوم، أو الثوريوم، أو البوتاسيوم في طبقة الخامات القريبة من السطح.

عام ١٩٧٩م نالت مجموعة العلماء التي ابتكرت مقياس الطيف الجوي جائزة الدولة من الدرجة العالية، وهذه المجموعة كانت تضم كلاً من ماتثييف، وفيليمونوف، وفوغت، وستيبانوف. وعندما سألوا فيليمونوف عن «مستكشف أشعة غاما الطائر»، أو مقياس الطيف الجوي هذا، قال: ما هذا؟ هذا جهاز واحد ذو ثلاثة أوجه، إذا ما جاز لي التعبير بهذا الشكل. وهو، قبل كل شيء، جهاز لإنجازات القياسات الجيوفيزيائية. ولكنه في نفس الوقت جهاز فيزيائي نووي وتركيبته الإشعاعية التقنية معقَّدة جداً».

يمكن قياس النشاط الإشعاعي باستخدام الخامات التي تستخرج، أو تظهر على الجدران الداخلية للآبار المحفورة. وتعتبر طريقة التقصِّي بوساطة أشعة غاما واحدة من الطرق المتعددة لدراسة جدران الآبار، وتقصي الخامات الباطنية. وهناك أيضاً تقصي آخر يسمّى تقصي غاما النيتروني. وطريقة

التقصي بوساطة أشعّة غاما طرحها العلماء الجيوفيزيائيون السوفييت شباك، وغرشكوف، وغراماكوف، وكورباتوف عام ١٩٣٣م. ذكر شباك أنه قبل ابتكار جهاز غيهر للإشعاعات لم تكن هناك أجهزة مناسبة لدراسة العناصر المشعة في أعماق الآبار. وفقط بعد ظهور هذه العدادات أمكن صنع أجهزة ممكنة الاستعمال في الآبار العميقة. ومادام أن ما تمَّت دراسته هو أشعة غاما، فإن الطريقة سميت تقصّي غاما. وحسب هذه الطريقة تتمُّ دراسة النشاط الإشعاعي للفلزّات، والخامات في الآبار المفتوحة بمساعدة مقياس أشعة غاما، الذي يدلى في البئر في حين يقوم مسجل أشعة موجود على سطح الأرض، وهو في نفس الوقت جزء من تجهيزة الدراسة المعنية. وتفرز أملاح الخامات ذات الإشعاعات المختلفة على المنحنيات التي يتمّ رسمها من خلال تقصّي غاما. ويدلُّ ارتفاع النشاط الإشعاعي على الخامات الصلصالية، وذلك لأنها تمتصُّ العناصر المشعة. أما انخفاض النشاط الإشعاعي فيدلُّ على خامات الكربونات، والحجر الرملي.

هناك طرق تقوم على إشعاع اصطناعي للخامات الصخرية، ودراسة امتصاص، وانتشار النترونات، وأشعة غاما. وهنا يتمّ إنزال مصدر الأشعة غاما، أو البروتونات في قميص خاصّ للبئر المحفورة. ويوجد في قميص البئر أيضاً مقياس لأشعة غاما، أو للبروتونات. ولتفادي التأثير المباشر لمصدر الأشعة على مقياسها يفصلون بينهما بشاشة رصاصية، أو شمعية. وهذا مبدأ أساسي لاستقصاءات غاما – غاما ونيترون – نيترون ونيترون – غاما. وعلى سبيل المثال، في استقصاء غاما – غاما كلما كانت المادة الخام التي يوجَّه إليها الإشعاع أكثر كثافة كان الامتصاص الكهرضوئي من قبل ذرَّات المادة لكموم غاما أكبر، وبالتالي الإشعاع المنتشر سيكون أضعف. وبناء على هذا يمكن بوساطة استقصاءات غاما – غاما تقسيم الخامات الصخرية بحسب كثافاتها.

كان الأكاديمي ب. بونتكورفو أول من طرح الاستقصاء النيتروني، وذلك عام ١٩٤١م.

في حالة تحليل التركيب بواسطة أشعّة رونتجن مع مصادر الإشعاعات يمكن تحديد المادة من خلال الأطياف المميّزة التي تظهرها أشعة رونتجن للعناصر المثارة.

تتيح مقاييس الأجهزة الجيوفيزيائية النووية معرفة تركيب خامات الثروات الباطنية دون اتصال مباشر بها. وتمكِّن من مراقبتها أثناء نقلها في عربات متحرِّكة أو على بساط متحرِّك في المنجم، أو في سيارة، أو في أمكنة تخزينها. وهذه المعلومات السريعة تسمح بتقصي تركيب الخام الصخري، لأنه لابد من أن يكون الخام المورَّد إلى معامل التركيز يحتوي على نسب معينة من المكوِّنات النافعة في تركيبته. وفي أعماق الأرض تتيح الطرق النووية دراسة تركيب خام صخري في مكان توضّعه دون المساس به، أو تحطيمه. بكلمات أخرى، نستطيع بالاستعانة بهذه الطرق حلّ معضلات هامة في الاقتصاد، واستخراج الخامات من الأعماق السحيقة بطرق اقتصادية. كما أن هذه الطرق تختصر، وبشكل كبير، الحاجة إلى إجراء التحاليل الكيميائية لتحديد مكونات الفلزّات التي تشكِّل سطح القمر. وهذا بالتحديد ما حتَّم، وسرَّع اللجوء للطرق النووية.

ورد في تقرير عن الأبحاث العلمية التي أجريت على المحطة (سالوت – ٧) أن روَّاد الفضاء راقبوا عملية تشكُّل نظائر الهليوم في حالة انعدام الوزن. إن هذه الملاحظات تعطي تفسيراً دقيقاً لبعض ألغاز الطبيعة، ويمكن أن تؤدي إلى اعتماد نواميس جديدة تكمل الاكتشافات المنجزة.

(٨)

الآبار العميقة جداً هي «فضاء مقلوب»



- أسرار الأعماق الهائلة.
- ما هو الكاروتاج؟
- تصويبات في مسار درجات الحرارة.
- الجيوفيزيائيون يسعون لتأمين أفران مجانية.

في رواية من الخيال العلمي للكاتب ألكسي ن. تولستوي بعنوان (جهاز الغيبربولويد «السطح الزائد» للمهندس غارين) حاول المهندس غارين الوصول إلى ذهب الحزام الوهمي الذي تفترض الأساطير وجوده في الأعماق السحيقة في باطن الأرض، وذلك بإحداث فتحة في الأرض بوساطة النار.

وحتى يومنا هذا لا توجد مثل هذه التجهيزات، ولا زال دارسو الأعماق يعتمدون الحفر بشكل كلي.

في البئر العميقة جداً التي تمَّ حفرها في شبه جزيرة كولا في الشمال الروسي تمَّ تدوين مجموعة من الملاحظات الفيزيائية. إن الإنسان لا يستطيع النزول في البئر وهو يحمل أجهزته كما هي الحال في مناجم الفحم. لذلك تمَّ في هذه البئر استقصاء Carottage فيزيائي(١). أي أن العينة المأخوذة من الخامات الصخرية نتيجة للحفر العمودي Kern(٢) بآلات حفر الآبار لها شكل الأنابيب المحشوة بمختلف أجهزة القياس التي يستعان بها لقياس القيم المختلفة في الحقول الفيزيائية، كتوتر الحقول الكهربائية، أو المغناطيسية، أو الإشعاعية، أو الصوتية، أو الحرارية. كما تضاف إلى تجهيزات حفر الآبار مجموعات من التجهيزات الإلكترونية. وتدلَّى أنبوبة في البئر معلَّقة بحبل خاصّ تمرّ داخل عروق الكابل. وعلى سطح الأرض توجد بكرة (ونش) لُفَّ عليها الحبل - الكابل، وإلى جانبها أجهزة تسجيل القراءات.

تتمُّ مراقبة حالة البئر بالاستعانة بأجهزة قياس خاصّة تراقب اعوجاج جدرانها الداخلية، ومسامية الفلزّات الصخرية التي تشكِّل الجدران الداخلية للبئر. ترسل أجهزة القياس المعلَّقة في البئر إشارات عبر الحبل - الكابل. وتخضع هذه الإشارات لعملية تقوية قبل أن تؤخذ إلى جهاز تسجيل تقوم عقاربه بتسجيلها على شريط منحنيات خاصّ. وتتحدَّث الإشارات المتعلِّقة بخصائص الحقول الفيزيائية عن خواصّ الوسط المحيط بالبئر من حيث مقاييس، وشكل الطبقات المخترقة.

إن الخواصّ الفيزيائية المختلفة لفلزّات الصخور، من كهربائية، أو مغناطيسية، أو إشعاعية، أو غيرها قادت إلى وضع طرق مختلفة لأبحاث

---

(١) تأتي كلمة Carottage من الكلمة الفرنسية Carot وتعني جزرة، إذ إنَّ عمود فلزّات الصخور الذي يتمُّ الحصول عليه هنا يشبه الجزرة. (المترجم)

(٢) الاسم الشائع لهذا الشكل من الحفر في اللغات العالمية وهو من اللغة الألمانية. (المترجم)

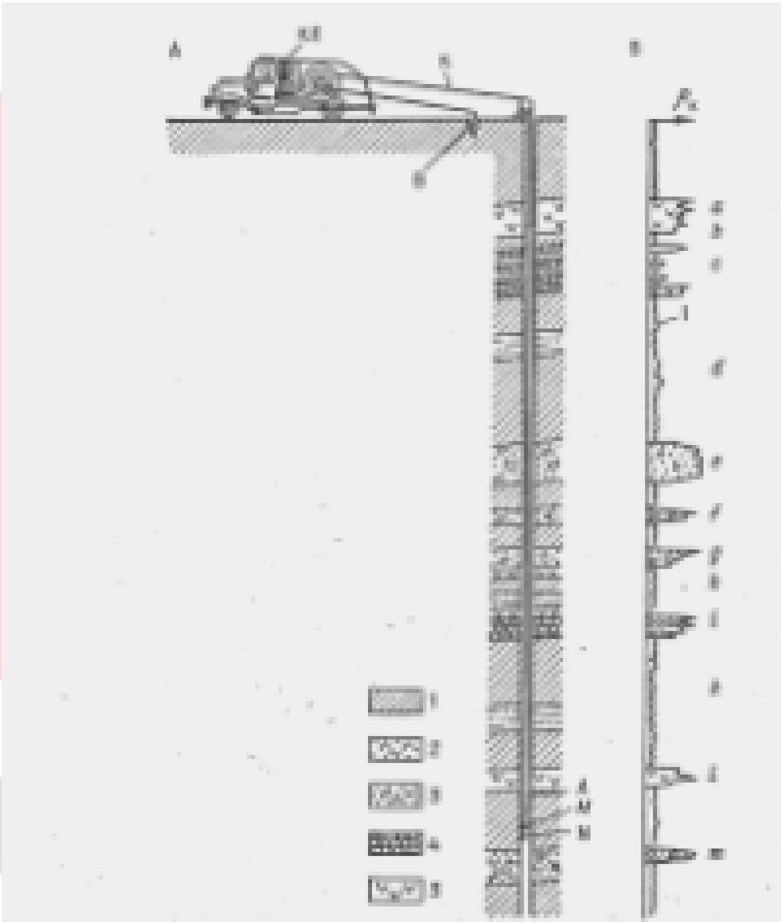
الآبار. تدرس الفلزّات الصخرية التي تخترقها البئر بشكل تفصيلي، وتسجَّل كل المعلومات المتعلِّقة بتتالي الطبقات الجيولوجية، وعمقها. ويتحدد تركيبها، وخواصّها الفيزيائية. ينفَّذ كل هذا على عينات من خامات الصخور المأخوذة من البئر. ونذكِّر أن عملية الحصول على عيِّنات نتيجة الحفر العمودي لا تكلَّل دائماً بالنجاح، ناهيك عن أنَّ هناك بعض الخصائص التي تفضَّل دراستها، وتقصيها في البئر بشكل مباشر، في نفس كتلة الخامات الصخرية حيث تتموضع طبيعياً، وليس في مكان منفصل. هناك بعض القيم الفيزيائية، كالحرارة مثلاً، التي لا بدّ من قياسها في أعماق البئر فقط حيث تتاح إمكانية ملاحظة الفروق الحرارية.

تتعلَّق المقاومة النوعيّة الكهربائية للفلزّات الصخرية بالرطوبة الطبيعية بدرجة كبيرة جداً. ويمكن القيام بالأبحاث الفيزيائية للمقاومة الكهربائية النوعيّة، والأشعة، والحرارة، وقابلية المغنطة، فقط، في البئر مباشرة. فضلاً عن أن هذه القياسات تسمح باختصار انتقاء العينة من الخامات الصخرية نتيجة الحفر العمودي Kern ما يوفر الراحة، والكلفة المادية.

وعلى سبيل المثال يتمثَّل الاستقصاء الكهربائي Carottage بقياس المقاومة الكهربائية النوعيّة على امتداد عمق البئر. وقد وضع علماء مثل فوكو، و ألبين، و زابروفسكي، وكوماروف الأسس النظرية للاستقصاء الكهربائي.

يعتقد كثير من الباحثين أن كلمة Carottage ليست كافية تماماً للوصول إلى جوهر الموضوع، لذا غالباً ما تستعمل عبارة «الطرق الجيوفيزيائية في دراسة الآبار» أو «الجيوفيزياء المهنية».

لا تختلف التجهيزات المستخدمة في الكاروتاج من حيث المبدأ عن تلك التي نستخدمها أثناء التصوير الأرضي لدراسة المقاومات النوعيّة، والتي عرَّجنا عليها في معرض حديثنا عن الأمواج الكهرطيسية التي تنير الأعماق. لكنها من حيث التركيب تختلف قليلاً، فهي موضوعة في أسطوانة مخصصة لتتدلى في البئر. أما الأجهزة التي يتمُّ بها قياس التوتر، وشدة التيّار فتقع على سطح الأرض



الشكل (١٠)

مخطط دراسة بئر - كاروتاج بطريقة المقاومة النوعيّة.

A – مقطع البئر.

B – منحني المقاومة النوعيّة؛ ١ - غضار؛ ٢ - رمال ومياه؛ ٣ - رمال ونفط؛ ٤ - حجر رملي كثيف؛ ٥ - جبس.

KL– مخبر للكاروتاج، K – كابل، A,B,M,N – إلكترودات. A-m طبقات منفصلة من الخامات. (عن مادة كتبها ف. ن. داخنوف).

تقاس المقاومة الكهربائية النوعيّة أثناء الأبحاث الجيوفيزيائية في الآبار بوساطة جهاز ذي أربع إلكترودات. توجد إلكترودات القياس حول واحد مغذٍّ، وتُدلى معه في البئر. أما الإلكترود المغذي الثاني، ومنبع التيّار فموجودان على الأرض. ويمكن بقياس التوتر، وشدة التيّار تحديد المقاومة النوعيّة للفلزّات الصخرية القريبة من الإلكترودات.

نعود إلى بئر شبه جزيرة كولا العميقة جداً. أثناء حفرها تمَّ حفر الـــ ٤٠ متراً الأولى بقطر ٩٢٠مم. بعد ذلك بقطر ٢١٤مم. وفي العادة لا يتجاوز قطر البئر المحفورة ٣٠سم. إلا نادراً، أما عمق البئر فيبلغ وسطياً كيلومتراً واحداً، أو عدَّة كيلومترات. ويمكن حفر بئر أقل قطراً لدرجة محسوسة إذا ما تمَّ استعمال أداة حفر من الماس. وفي أيامنا هذه يحفرون آباراً بقطر ٧٦مم. وغداً ربما غدا هذا القطر ٥٩مم. ثم ٤٦مم. وفي هذا الحيِّز المحدود توضع حسَّاسات، وأجهزة قياس فيزيائية متنوعة، تعطي معلومات عن خصائص طبقات الفلزّات الصخرية.

قدمت المراقبة الجيوفيزيائية لحرارة ترس البلطيق التي قام بها الجيوفيزيائيون نتائج جديدة. افتُرِضَ سابقاً أن مجال التغير الحراري هو درجة واحدة لكل ١٠٠متر تقريباً. وحتى عمق ٣ كيلومترات كانت الحرارة تزداد كما كان يفترض تماماً، وبعد ذلك بدأت تزداد كثيراً حتى بلغت على عمق ١٠ كيلومترات ١٨٠ْ درجة مئوية.

تمَّ حفر بئر شبه جزيرة كولا العميقة جداً في منطقة اكتشف فيها خام النيكل. وأُنشئت مدينة هناك أُطلق عليها اسم **نيكل**. وهذه المنطقة مدروسة جيداً من قبل الجيولوجيين والجيوفيزيائيين. وقد تمَّ في هذه المنطقة استكشاف كهرجوي وكهرأرضي وجاذبوي – مغناطيسي – زلزالي. وحسب المعطيات الجيوفيزيائية تمَّ حفر آبار كثيرة. وافتُرِضَ أن الخامات تتوضَّع هنا على عمق ليس كبيراً، يبلغ بضع مئات من الأمتار. غير أنه عند التعمُّق

في حفر آبار عميقة جداً، وعلى عمق ما بين ١٦٠٠ – ١٨٠٠ متر وجدت كتل من خامات النيكل، يمكن اعتبارها مستقبلاً نموذجاً لصناعة استخراج النيكل.

تدرس المخابر العالمية الخواصّ الفيزيائية للعينات التي جاءت بها مراكب الفضاء من القمر، الروسية «لونا»، والأمريكية «أبولون». ولكن المخابر الروسية وحدها تدرس نماذج من خامات الصخور رفعت من أعماق تزيد عن عشرة كيلومترات.

هذه الأنموذجات كانت حتى الأمس القريب خيالية، وهي الآن حقيقة واقعة. ولكن هذا لا يعني أن كل وسائل دراسة الأعماق قد استنفدت.

ربما ظهرت في المستقبل القريب تجهيزات حفر مخصّصة للعمليات في باطن الأرض تماماً كتجهيزات دراسة أعماق البحار، والمحيطات. وهذه التجهيزات ستزوَّد بأجهزة جيوفيزيائية متنوعة.

اخترع تربيليف آلة حفر قبيل الحرب العالمية الثانية أسماها «الخلد الميكانيكي». بدأ أمره بمراقبة الخلد أثناء حركته تحت الأرض، تماماً كما كان علماء البيولوجيا يفعلون. وبعد ذلك صنع «الخلد الميكانيكي» بأسنان فولاذية، ويستطيع التقدّم في التربة بسرعة ١٠ أمتار في الساعة، معطياً كل المعلومات الجيوفيزيائية عن الخصائص الفيزيائية، إن مثل هذه السفينة الجيولوجية تمكِّن من كشف أسرار بنية الأرض. وبغية تصنيع مثل هذه الآلات كان لابدّ من تركيب سبائك معدنية خاصّة، وتقنية متميّزة، وأجهزة دقيقة.

يمكن للقارئ أن يقول إنَّ هذه الصعوبات هي حتماً دون صعوبات صناعة الصواريخ. ولكن عليكم عدم الإسراع بالاستنتاجات. فقد صنع مخترع سوڤييتي آخر هو م. إي. تسيفيروف «خلده» الخاصّ من أنبوب متين جداً على شكل مخروط، ومنافث موصولة مع محركات نفاثة تعمل على شحنات البارود. وحصل بذلك على صاروخ يمكن أن يعمل على

الوقود السائل. وتستطيع هذه الطلقة النفاثة أن تخترق الخامات بعمق ١٠٠٠ متر خلال بضع دقائق. ويُطلق باتجاه الأعماق – «فضاء مقلوب» صاروخ بقاعدة إطلاق خاصّة وتوجيه دقيق. (إن تعبير «فضاء مقلوب» جاء به الجيولوجيون، مشيرين بذلك إلى أهمية هذه المسألة بالنسبة للإنسان). ومع عودة الصاروخ للتزوُّد بالوقود يجيء بكميات هائلة من المعلومات العلمية، مما يمكِّن من رؤية أسرار الأعماق على شاشة التلفزيون. ومع الزمن سيتمُّ إعداد مختصين في جيوفيزياء الكهوف والأغوار، ربما سيطلق عليهم اسم «روَّاد الأرض» أسوة برواد الفضاء أو «روَّاد الأعماق» وسيحدثوننا عما رأوه من ألوان، وتفريغ كهربائي، وإشعاعات، وغيرها من المكتشفات.

في المستقبل ستعمل أفضل أدمغة الإنسانية في مجال تصنيع سبائك جديدة، تتحمَّل مختلف الظروف الفضائية المعقَّدة. ولكن اليوم غدا واضحاً أن السيطرة على «فضاء الأعماق» بما يشكله من أسرار، وألغاز ليست أقل تعقيداً أبداً، وسيأتي إلى هنا أكثر الناس خبرة، وعلماً. يورد نوفيكوف في كتابه «أسرار ما هو واضح» أن صعوبات إنتاج مثل هذا الصاروخ الأرضي سيذلّلها التعاون بين كل من منتجي الصواريخ، والمدافع الآلية، واختصاصيي الحفر، والتنقيب، والفيزيائيين المتخصصين بتقنيات إنتاج المعادن، وتشكيلها. أما كاروتاج Carotage الأعماق فسيؤمِّنه الجيوفيزيائيون.

يجب افتتاح مختبر فيزيائي طبيعي، أو حقل تجارب في منطقة بئر شبه جزيرة كولا العميقة جداً، حيث سنتمكَّن من مراقبة دائمة للأعماق، وعلى مدى مئات السنين.

كانت فكرة حفر آبار بالغة العمق لأهداف علمية محضة قد طرحت في ثلاثينيات القرن الماضي من قبل جيولوجيين سوفييت. وعام ١٩٦١م.

وضع برنامج خاصّ للحفر العميق جداً. وكان هذا البرنامج وليد تعاون وثيق جداً بين كل من الجيولوجي بليايفسكي، والجيوفيزيائي فيدينسكي. حيث كان بليايفسكي يرأس مصلحة الجيولوجيا، وفيدينسكي يرأس مصلحة الجيوفيزياء في وزارة الجيولوجيا للاتحاد السوفييتي حينذاك. عرض العالمان، وهما العارفان جيداً بالدراسات الجيوفيزيائية للاتحاد السوفييتي حينها، حفر خمس آبار بالغة العمق، للوصول إلى الطبقة الرسوبية، والحدود الدنيا للقشرة الأرضية – طبقة البازلت. وتمَّ توزيع هذه الآبار على كامل مساحة الاتحاد السوفييتي من كاريليا، وحتى الكوريل[1]. وكان العمق المفترض لهذه الآبار يصل إلى ١٥ كيلومتراً. وكان على الآبار أن توضح لنا مسارات المياه، والمحاليل المائية (بما فيها المحاليل الحاملة للخامات)، وزفير الغازات من كوكبنا الأرضي، أي طبيعة، وتركيب الانبعاثات الغازية، وتأمين حصولنا على مقاطع جيولوجية مختلفة الأنواع، ودراسة الخواصّ الفيزيائية للفلزّات، والخامات الصخرية في العمق، والتأكد، على هذا الأساس، من صحَّة تصوُّراتنا عن طبقة البازلت، وما يتعلَّق بها من حدود واضحة من حيث المعطيات الجيوفيزيائية مع تغيرات سرعة الأمواج المرنة على أعماق من بضعة كيلومترات حتى ٧٠كم. وهي ما تسمّى حدود كونراد وموخوروفيتشيتش. وإضافة إلى ذلك تنبئنا عن العمليات التحويلية في الأعماق، وبنية المساحات التي يتشكَّل فيها الغرانيت، كما أن على هذه الآبار أن تتيح لنا اختبار صحَّة التعاليل الجيوفيزيائية المتوافرة. كل هذا يساعدنا في تجميع المعطيات عن العمليات التي تجري في الأعماق، وعن بنية القشرة الأرضية أيضاً.

---

(١) **الكوريل**: أرخبيل من الجزر في الشرق الأقصى الروسي. شمال جزيرة هوكايدو اليابانية. تتبع محافظة ساخالين الروسية. احتلها الروس من اليابان في نهاية الحرب العالمية الثانية، وما زالت موضع نزاع بين الدولتين. (المترجم)

في بداية ستينيات القرن الماضي أُصدِرت التعليمات لحفر آبار يصل عمقها حتى ١٥ كيلومتراً. في البداية حُفِرَت بئر الأورال في المنخفضات القريبة من بحر قزوين، بعمق بلغ ٦٨٠٦ متراً. وسمِّيت هذه البئر «البئر البالغة العمق الأولى» أو اختصاراً «Cr-1». وحفروا فيما بعد بئراً ثانيةً في نفس المنطقة سمِّيت بئر البينكجال أو اختصاراً «Cr-2». و بُدِئ بحفر البئر الثالثة عام ١٩٧٠م وكان ذلك في شبه جزيرة كولا، وسمِّيت اختصاراً «Cr-3». ونظراً للأهمية البالغة التي كان العهد السوفييتي يوليها للعلوم فقد كان وزير الجيولوجيا الاتحادي كازلوفسكي يرأس برنامج حفر الآبار العميقة بغية دراسة الأعماق السحيقة. بالإضافة إلى رئاسته المجلس العلمي لقضايا «دراسة أعماق الأرض، والحفر البالغ العمق». وقد مُنح جائزة لينين مع مجموعة من الجيولوجيين لقاء اكتشافهم مناجم القصدير في منطقة خاباروفسك[١]، وكان أهم ما يميِّز شخصيته الفريدة أنه تدرَّج في السلَّم الوظيفي والعلمي من طالب إلى وزير. ونقتبس قوله التالي عن كشف أسرار الأعماق: «إن المعلومات الثمينة جداً عن حالة ومواصفات مادة القشرة الأرضية في الأعماق الكبيرة تتيح لنا استشفاف التطور المستقبلي للقاعدة الصناعية لاستخراج المواد الأولية بثقة كبيرة. إن تقنية الوسائل الصناعية والخبرة الوطنية المتراكمة في مجال الحفر العميق هي أساس جيد لتفعيل حفر الآبار العميقة للبحث عن النفط، والغاز، وخامات المواد الأولية الصلبة. إن الحفر العميق المترافق مع أبحاث فضائية، وفلكية، وجيوفيزيائية، وجيوكيميائية، وأعمال بحثية، واستكشافية على البر، وفي البحر، تؤمِّن تطويراً متسارعاً للأعمال المتعلِّقة بالدراسة الجيولوجية لأرضنا، وزيادة استكشاف احتياطات مصادر المواد الأولية للبلاد». وتمَّ

---

(١) **خاباروفسك** منطقة في الشرق الأقصى الروسي على بحر اليابان. تطل على مضيق التتر. كانت رمزاً للمناطق النائية والباردة. (المترجم)

تثمين أعمال الحفر العميق عالياً في المؤتمر الدولي السابع والعشرين للجيولوجيا الذي عقد في موسكو عام ١٩٨٤م.

قضى برنامج الحفر طويل الأمد بحفر حوالي عشرين بئراً عميقة يتراوح عمقها ما بين ٧ و ١٢ كم. في منطقة الأورال، وكراسنويارسك، وفي أوكرانيا، وأوزبكستان، وفي سيبيريا الغربية، ومنطقة كراسنودار، والمنخفضات القريبة من بحر قزوين. كما تمَّ حفر بئر عميقة في أذربيجان لدراسة احتياطات النفط، والغاز. وهذا البرنامج شمل في حينه مجمل الأراضي التي كانت تابعة للاتحاد السوفييتي في تلك الحقبة، واستمرَّ لعدة سنوات، وعمل فيه الكثيرون.

في غالبية الآبار ، وربما في جميعها، جرت عمليات مراقبة طويلة، ودورية لما يحدث في أعماق الأرض من عمليات. واستحدثت أدوات، ووسائل وتجهيزات رائعة للمراقبة الجيوفيزيائية.

صحَّحت البئر العميقة جداً «Cr-3» مجال التغير الحراري. فسطح الأرض يتعرَّض للتسخين الشمسي، وباطنها تكمن فيه الحرارة الذاتية لها، وقد لاحظ البشر هذا منذ القدم في المناجم، والآبار، ومصادر المياه الساخنة. فالحرارة هي أول قيمة فيزيائية تمَّ تقصِّيها في الآبار.

يعتبر العلماء أن الحرارة ترتفع، وسطياً، درجة واحدة لكل ٣٣ متراً عمقاً. وهذه الحقيقة استأثرت بالنقاش لمدة طويلة. وفي عام ١٧٤٤م. كتب لومونوسوف مقالاً بعنوان «عن الحركة العفوية للهواء التي نراها في الينابيع» وفيه ألمح إلى ارتفاع درجة الحرارة في الينابيع بالنظر إلى الحرارة الشمسية والأرضية، وعرض بوضوح جلي تأثير الحرارة الأرضية على العمليات الجيولوجية.

كان تجمُّد الأرض لسنوات طويلة، وظاهرة الينابيع الحارة، موضع ملاحظة البشرية منذ القرون الأولى. وموضع استغرابهم أيضاً. في عام

١٧٣١م. قام كراشنينكوف بقياس درجة حرارة الماء في ينابيع كامتشاتكا[1]. وفي عام ١٧٦٨م. اكتشف بالاس، أثناء قياسه للحرارة في حقول النفط في مناطق الڤولغا، العلاقة بين الحرارة الباطنية للأرض، وتركيب الخامات فيها، وبرهن بذلك إمكانية تقسيم الطبقات الجيولوجية للمقطع حسب المعطيات الحرارية.

كان غولوبياتنيكوف، وهو شخصية روسية مرموقة في عالم النفط، والجيولوجيا، أول من لفت النظر إلى أن قياس الحرارة يساعد في دراسة المقاطع الجيولوجية للآبار ذلك أن الخامات تختلف في نقلها للحرارة. عام ١٩٠٨م. قاس غولوبياتنيكوف الحرارة في بئر نفطية في شبه جزيرة أبشيرون، وكان هذا يحدث لأول مرة، وهو ما أتاح معرفة حرارة الطبقات الجيولوجية التي تحتوي على النفط، ومناطق فارغة، ومياه قريبة من مكان البئر. وتوصَّل غولوبياتنيكوف، بعد قياسه للحرارة في ٣٢٧ بئراً، إلى أن متوسط درجة الحرارة يبلغ هنا ٢٤،٨ م/درجة. بالإضافة إلى هذا سجلت انحرافات عن القيمة الوسطى حتى ١٦،٥م/درجة في جهة و٤٨،٣ م/درجة في الجهة الأخرى. وعزا غولوبياتنيكوف هذا التغيُّر إلى تيّارات المياه.

تتويجاً لعدد كبير من عمليات قياس الحرارة في المستويات الغنية بالنفط، أو الماء خلص غولوبياتنيكوف إلى القاعدة التالية: درجة حرارة المستويات الغنية بالنفط أخفض، دائماً، من درجة حرارة المستويات الغنية بالماء إذا ما أُخذت في ظروف متشابهة. وأطلق على هذا الاكتشاف اسم «عامل التبريد» كظاهرة في عالم الطبيعة الجامدة. ويتمُّ الآن استخدام هذا الاكتشاف في تحديد مكان توضُّع الطبقات النفطية.

---

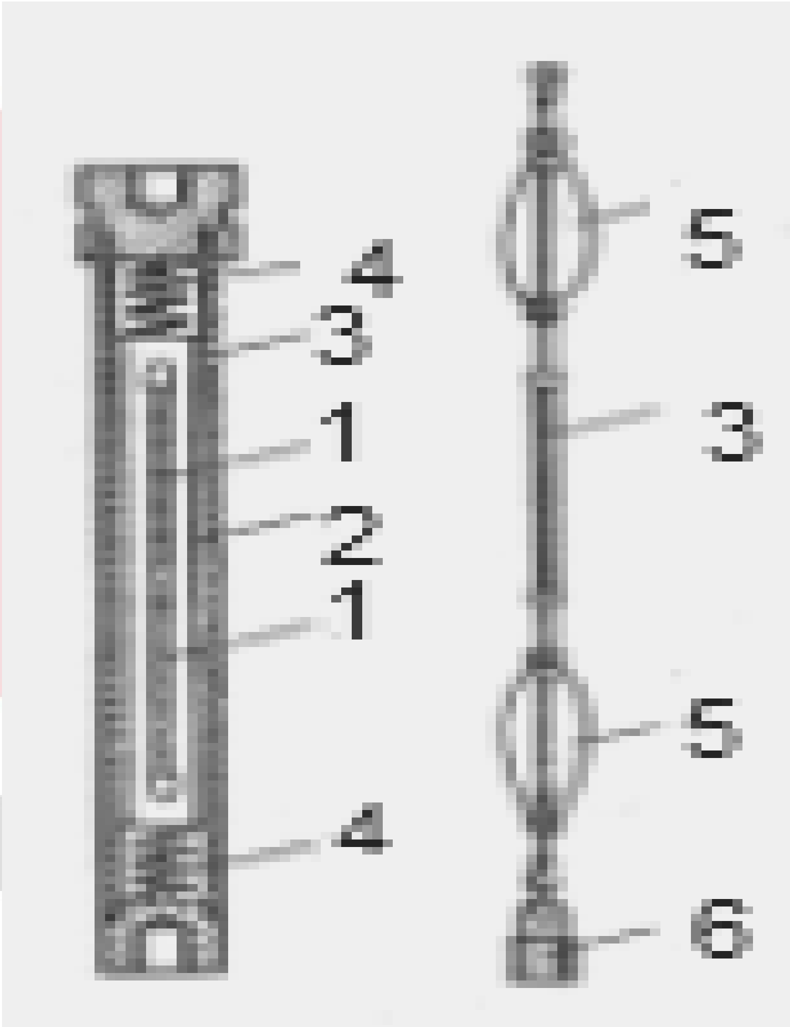
(١) **كامتشاتكا**: شبه جزيرة في أقصى شمال شرق روسيا. (المترجم)

يمكن قياس الحرارة بمقياس حرارة زئبقي عادي، يمكن إنزاله في البئر ضمن أسطوانة (قميص) خاصّة. وفي التطبيقات العملية الميدانية غالباً ما تستخدم مقاييس الحرارة الكهربائية التي تقوم على قياس العلاقة بين المقاومة الكهربائية النوعيّة لشريط من النحاس، أو الحديد، أو النيكل، والحرارة. ومثل هذا المقياس يتمُّ إنزاله أيضاً ضمن تجهيزات البئر. انظر (الشكل ١١).

وقد وضع العلماء الروس خريطة لدرجات الحرارة لكل البلد، بما فيها لكل منطقة بذاتها بشكل مستقل. (انظر الجدول) ولكن العلماء يعتبرون أن قياسات درجات الحرارة لم تستكمل بعد. إضافة إلى ذلك أنه أثناء حفر البئر، وتصميم مسارات عميقة، وعمليات التنقيب تحت الأرض لابدّ من معرفة جيدة بالخصائص الحرارية للفلزّات الصخرية.

إن الاستفادة من الأبحاث الحرارية في الآبار تجري على نطاق واسع في أيامنا هذه وخاصّة منها ما يتعلَّق بدراسة بنية أعماق الأرض. غير أن سؤالاً يظهر، على التوازي، عن علاقة النظام الحروري لكوكبنا مع إشعاعه. وحسب معطيات الأبحاث فإن مساهمة العامل المرتبط بالانقسام الإشعاعي في التيّار الحراري العام تشكِّل ما بين ٦٠ إلى ١٠% وربما أدنى من ذلك.

تبحث الإنسانية عن مصادر جديدة للطاقة. وتولي اهتماماً كبيراً لمصادر الطاقة المتجددة كالهواء والطاقة الشمسية والمدّ البحري والطاقة الكامنة في أعماق الأرض. ويعتبر بعض العلماء أن التمكِّن من استثمار الطاقة الشمسية، وطاقة أعماق الأرض، هي قضايا لا تقل في أهميتها عن التفاعلات النووية المحكومة.



الشكل (١١)

مقياس حرارة زئبقي لقياس درجة حرارة الآبار.

١ - مقياس حرارة.   ٢ - أسطوانة من النحاس الأصفر.   ٣ - قميص.

٤ - مخمدات ارتجاج نابضية.   ٥ - لمبات إنارة.   ٦ - ثقل.

(المصدر د.ي. دياكونوف، و ف. ن. داخنوف).

المنطقة	السلَّم الحراري متر/درجة مئوية	المنطقة	السلَّم الحراري م/درجة مئوية
شمال القوقاز (منطقة غروزنينسكي)	١٢,٠	الحوض السفلي لنهر الڤولغا	٤٩,٥
داغستان	٢١,٤	حوض كاراغندة	٦٢,٠
(منطقة مايكوبسكي) في غرب القوقاز	٢٥,١	منطقة لوكا في سامارا	٦٤,٣
شبه جزيرة أبشيرونسكي	٢٧,٤	جمهورية بشكيريا ذات الاستقلال الذاتي	٨٢,٦
مناطق غرب القوقاز	٣١,٦	بيلروسيا	٨٦,٥
الدونباس	٣٢,٢	كامسك (الأورال)	٨٨,٢
إيمبا	٣٣,٣	ترس البلطيق	٩٢,٥
أوكرانيا(القسم الغربي)	٤٢,٢	كريڤوي روغ	١١٢,٥

الجدول (٤)

إن دراسة النظم الحرارية في مناطق مختلفة من القشرة الأرضية، تستخدم لوضع أساس جيولوجي، وجيوفيزيائي لمناطق حرارية مستقلة – مكامن حرارية مثيرة للاهتمام فيما يتعلَّق باستثمار حرارة باطن الأرض في تجهيزات التدفئة، وإنتاج الطاقة الكهربائية. وقد أُنشئت في أكثر من مكان شبكات جيوحرارية لتأمين الدفء للتجمُّعات السكانية. لن يكون في مثل هذه المدن هباباً، ولا سناجاً، وفي البيوت السكنية، والدفيئات البلاستيكية، والمسابح ستستخدم المياه المسخَّنة بالحرارة الجوفية. وتتوافر على سطح الكرة الأرضية الكثير من مصادر المياه المسخَّنة بالحرارة الباطنية للأرض يتمُّ البحث عنها ودراستها بالاستعانة بعلم الجيوفيزياء.

تكتسب هذه القضية أهمية خاصّة بالنسبة للشمال الشرقي في روسيا الاتحادية. فهذه المنطقة غنية بمناجم الماس، والذهب، والقصدير، والتنغستين

(الڤولفرام). لكن المناخ هنا بارد، وصعب جداً، والصيف قصير، ونقل الوقود إلى هنا أمر يتطلَّب كلفة عالية. لهذه الأسباب كلها غدا لزاماً البحث في الشمال الشرقي عن مصادر للطاقة. وهذه المصادر أصبحت موجودة، ففي تشوكوتكا[١] هناك ١٣ ينبوعاً تصل درجة حرارة مياهها إلى ٩٠° درجة مئوية.

وقد وصف الجيولوجي، والشاعر السيبيري دراڤيرت مصدراً للمياه الساخنة بشعر قال فيه:

بالقرب من المحيط المتجمِّد الأشيب
في منطقة كوليمسك توجد ينابيع حارة
والشتاء يتزين بخوذة الضباب من فوقها
وفي الأعالي « تُسكُّ » السيوف
أما في الأرض المتجمِّدة، فتمتدُّ الدروب
وتجيش الينابيع كسابق عهدها كما في يوم صائف
ويذيب الدفء الرطب بقايا الثلج
وتنبجس تيّارات الماء الحي في الشقوق.

في هذه الأطراف يقوم الجيوفيزيائيون بعمل كبير جداً في البحث عن المياه الجوفية الحارة، ودراستها. وستزداد أهمية هذه المياه مستقبلاً نظراً لتناقص احتياطي النفط، والفحم، والغاز.

تُقيَّم احتياطات طاقة المياه الجوفية الحارة في أيامنا هذه من خلال آبار تُحفر بأعماق تصل إلى عدة كيلومترات. إن التطور في عمليات الحفر العميق لبلوغ أعماق ما بين ١٠-١٥ كيلومتراً يفتح آفاقاً جديدة لزيادة احتياطيات

---

(١) **تشوكوتكا**: منطقة في أقصى شمال شرق روسيا الاتحادية. (المترجم)

مصادر الطاقة. ذلك أنَّه في مثل هذه الأعماق ترتفع الحرارة إلى ما بين ٢٠٠–٣٥٠ ْ درجة مئوية.

يعتبر الجيولوجيون، والجيوفيزيائيون أنه على عمق ٥٠ كيلومتراً يمكن أن تبلغ درجة الحرارة ١٥٠٠ ْ درجة مئوية، ولهذا تكون كل الفلزّات، والخامات هناك في حالة انصهار. وطالما أن الأمر هكذا فمعنى ذلك أنَّ احتياطي الطاقة يصبح أكبر. وهذا ما يوضح بجلاء أهمية الحفر العميق، والدراسات الجيوفيزيائية للآبار.

يطرح الآن سؤال نفسه، وهو التالي: كم من الطاقة يمكن أخذه من الأرض؟

يعتبر العلماء أن أخذ ١% من طاقة الأرض لن يغيِّر في عملياتها شيئاً، أما إذا ما أُخِذَ ٥% أو ١٠% فمن يدري ماذا سيحدث؟ اليوم لا أحد يعلم. لكن العلماء سيجيبون مستقبلاً عن هذا السؤال. وكم من الخامات يمكن استخراجه من سطح، أو أعماق الأرض؟ فالأرض هي بيتنا الكوني. ألن نحطم «براشيم تثبيته»، و«إطار استناده» باستخراجنا كل المعادن على شكل خامات من الأرض؟ هل يمكننا أخذ قسم فقط؟ وأي قسم؟ هذه أسئلة لا بدّ للعلماء والجيوفيزيائيين من الإجابة عليها. هذه الإجابة ستفرض حتماً دراسة قبلية متمعِّنة للمجال الذي يفصل الآبار عن بعضها بطرق جيوفيزيائية بحتة.

وضع العلماء الروس، في العهد السوفييتي السابق، مخططات لدراسة بنية وأعماق الأرض على كامل مساحة الاتحاد السوفييتي حينها. وهذا ما تطلَّب إجراء قياسات للحقلين المغناطيسي والكهربائي لأول مرة. والقيام باستكشاف زلزالي وجاذبوي وهذا ما سمح، في نهاية الأمر، بمعرفة بنية الأرض، وتأديتها لوظيفتها، ما يوضح بجلاء كيفية الاستثمار الأمثل لها.

قبل اختيار المكان الذي حُفِرت فيه بئر شبه جزيرة كولا العميقة (قبل غرسها، كما يقول الجيوفيزيائيون) نفِّذت في المنطقة أبحاث جيوفيزيائية. وحسب المعطيات التي تمَّ الحصول عليها في الجانب الاستكشافي الزلزالي، تبين أنَّ أحد الحدود العميقة للقشرة الأرضية يجب أن يكون على عمق ٧ كيلومترات. حيث يجب أن يكون هناك تغيُّر حاد في الخصائص المرنة، التي يمكن اعتبارها حداً أسفلاً للقشرة الأرضية، يوصل إلى رداء المغما. لكن البئر العميقة جداً لم تمرّ بمثل هذه الحدود! رغم أن الأجهزة تعمل بشكل طبيعي، وفعَّال. فيمَ تكمن المشكلة إذاً؟ أهي في أسرار انتشار الأمواج الزلزالية، أم في خصائص جديدة للأعماق؟ إن العلم ينتظر الجواب.

ونشير مرة أخرى إلى أننا نتلقى الآن المعلومات عن كواكب بعيدة جداً عنا كالقمر، والمريخ، والزهرة، والمشتري... ونحن ننظر الآن إلى أعماق الذرَّة، لكن ماذا عن الأرض؟ إننا لا نعرف الكثير بعد عن الكوكب الذي تعيش البشرية، وتنتقل على ظهره.

(٩)

الجيوفيزياء هي نظر علم الآثار الثاقب



- ذهب سد نينا.
- أفران الخزَّافين تجذب الإبرة المغناطيسية.
- المستكشفون بوسائل كهربائية يرسمون خرائط ڤيلات روما القديمة.
- المرجاع يرسم مخططات المدن المغمورة بالماء.
- المناطق الأثرية في مختلف مناطق العالم تنتظر الجيوفيزيائيين.

آمن عالم الآثار الألماني غ. شليمان بأسطورة قرأها في الإلياذة واستعان بالأوصاف التي أوردتها كيما يعثر على خرائب «تروي» الأثرية.

إذا ما اعتبرنا أن عام ١٨٧٠م. كان عام ولادة الاستكشاف المعاصر للآثار، حيث بداية حفريات شليمان، فإن نوعي الاستكشاف (الجيوفيزيائي، والآثاري) سيعتبران معاصرين تقريباً. ويشترك كل من الاستكشاف الجيوفيزيائي، والآثاري في مواضيع كثيرة. فهما يضعان نصب أعينهما أهدافاً مشابهة للبحث عن عينات أعماق الأرض. إلا أنه في الحقيقة إذا ما كانت الجيوفيزياء تواجه، بشكل رئيس، مسألة البحث عن مكامن الخامات الباطنية الموجودة عادة على أعماق كبيرة، ولها أبعاد كبيرة أيضاً، فإن استكشاف العاديات يهتمُّ بآثار القرون الماضية التي تقع على عمق غير كبير، وأحياناً طفيف جداً تحت سطح الأرض.

إن الميزة المهمَّة، وربما المفتاحية، التي سهَّلت للطرق الجيوفيزيائية إشغال هذه المكانة المرموقة، من حيث البدء باستخدامها في عمليات البحث عن العاديات، تأتي من أن هذه الطرق تتيح الكشف عن مختلف المنشآت المدفونة بلا إضرار بالطبقة السطحية للأرض، أو العينة موضوع البحث. واستخدام الطرق الجيوفيزيائية يختصر حجم الأعمال الأرضية عدة مرات، وبالتالي يخفف من كلفة استكشاف العاديات، والآثار.

والميزة الثانية لاستخدام الطرق الجيوفيزيائية في الاستكشاف هي العمق. إذ إنه في أثناء استخدام الطرق الجيوفيزيائية لحل القضايا المتعلقة بالآثار لا يقف البحث في الأعماق عائقاً في وجه الباحث. ويستطيع الباحث الأثري في كثير من الحالات تحديد العمق الذي ستجري فيه الأبحاث ما يعطي أهمية استثنائية لطريقة دراسة النصب الأثرية بطريقة الطبقات التي صمَّمها، ونفَّذها علماء الآثار السوفييت في نهايات القرن الماضي. ويمكن بالاستعانة بالطرق الجيوفيزيائية القيام بدراسة مساحات كبيرة في وقت قليل جداً، وبدرجة كافية من الموثوقية.

عُثِر في كتابات قديمة جداً على وثيقة تقول إنه في صيف عام ١٢١٦م. أرسل الملك الإنكليزي يوحنا بيززيميلني الخزينة الملكية من قلعة كينغس لين إلى يورك عاصمة إنكلترا في ذلك الوقت. وكانت آخر مرة شوهدت فيها قافلة

الكنوز الملكية على ضفة خليج «أوش» وبعدها لم تقع عليها عين بشر... لقد اختفت القافلة. وبقيت فقط سجلات موجودات الخزنة الملكية، ومن زمن إلى آخر كان الناس يعثرون على قطع عملة ذهبية سُكَّت في الزمن الغابر. وصلت هذه الأسطورة عن المجوهرات المفقودة إلى أيامنا هذه، وفي عام ١٩٠٦م. وعلى أساس دراسة دقيقة لوثائق تاريخية وضعت فرضية تقول أن القافلة إنما غرقت في موجة مدٍّ كبيرة، أثناء تحركها في طريق السدِّ القديم، بوادي نهر «نين». وقبل البحث عن الكنوز المفقودة كان لا بدّ من تحديد موقع السد، الذي طمرته الرمال مع مرور مئات السنين. وفي مكان الخليج ظهرت القرى، والمزارع، والبساتين. أما أين كان السدّ ينتصب فهذا متروك لفرضيات متنوعة. واقتضى البحث عن الكنوز المفقودة معرفة أكيدة بمكان وجودها.

في خمسينيات القرن الماضي اهتمَّ الجيوفيزيائيون بالتأكُّد من الفرضيات المطروحة. واستخدموا من أجل ذلك أجهزة قياس المقاومة النوعيّة المتوسطة للأرض عند إمرار تيّار كهربائي فيها. هذه الأجهزة مشابهة لتلك التي يستخدمها الجيولوجيون أثناء البحث عن مناجم الخامات الباطنية (انظر فصل ٣: كيف تخترق الأمواج الكهرمغناطيسية الأرض). حيث يمكن بالاستعانة بهذه الأجهزة «رؤية» ما تخفيه الأعماق بالرغم من عدم شفافية الأرض، وقبل البدء بعمليات الحفر لا بدّ من وضع مخطط لموضوع الدراسة، وهو في حالتنا هذه السدّ، ثم بحسب هذا المخطط يبدأ البحث بالقرب من مكان السدّ عن الكنوز المفقودة. واعتبر الجيوفيزيائيون أنَّ السدّ الصلصالي، حيث كانت تسير القافلة المحملة بالكنوز يجب أن يكون ذا ناقلية أكبر للكهرباء من ناقلية الرمال التي تغمره. وقاموا بأعمال نمذجة في المخابر للتأكد من صحّة الفرضيات. فعملوا أنموذجاً للسدّ من أوراق الألمنيوم الرقيقة. وملأوها من الأعلى بالماء المالح ليقوم مقام الرمل الرطب. وجاءت القياسات التي أجريت على الأنموذج المخبري بما مفاده أنَّ العثور على السدّ أمر ممكن وليس مستحيلاً. وعلى الفور أرسلت بعثة إلى وادي نهر «نين»، حيث قامت بقياس الخواصّ الكهربائية لكل من التربة

والصلصال في الوادي. وكانت النتائج مذهلة: فهناك شريط ضيق يتميّز بمقاومات نوعية منخفضة يتقاطع فعلياً مع الوادي. هل هذا الشريط هو بقايا الصلصال الذي كان يشكل جسم السدّ؟ إلا أن شريط الأرض الضيق لا يمرُّ من المكان الذي افترض أنه يمرُّ فيه. وللتأكد من المعطيات التي حصل عليها الجيوفيزيائيون تمَّ حفر عدَّة آبار. وفي الردميات التي استخرجت من إحدى الآبار إلى السطح اكتشفت كسرات من طلاء الميناء، ومواد حديدية وحبيبات من الذهب، وخيوط فضية. وبدأ الجميع يتساءلون إن كانت هذه آثار السرِّ الدفين للقافلة المفقودة منذ سبعمئة عام خلت! مع كل ما كانت تحمله من كنوز، ونفائس. لم يتمَّ التأكّد بعد.

إن التسخير الأول للجيوفيزياء لخدمة علم الآثار في الاتحاد السوڤييتي السابق كان في محطة من العصر الحجري الحديث تسمّى «ڤيون» بالقرب من سانت بطرسبرغ. وكما أظهر علماء الآثار فقد كان الأجداد، ومنذ آلاف السنين، يأتون من منطقة ڤالدايا إلى هنا للصيد. ولم يبقَ الآن من تلك الحياة الموغلة في القدم إلا طبقة من الآثار تحتوي على كسرات الفخار، والحجارة، وفحم المواقد. وهذه الطبقة الأثرية مغطاة بطبقة من التراب. ولا بدّ من تحديد امتداداتها. ومن أجل هذا استخدمت أجهزة جيوفيزيائية، وعلى الأخص مقياس مغناطيس لقياس توتر المجال المغناطيسي للأرض.

من المعلوم أن الفخار يتمغنط نتيجة احتواء الصلصال، الذي يصنع منه، على فلزّ المغنيتيت المغناطيسي، ولهذا تنجذب إبرة المقياس المغناطيسي نحو الفخار، حتى وإن كان تحت التراب. ومن خلال مراقبة انحراف الإبرة المغناطيسية يمكن تحديد الطبقة الحاوية على الفخار. وبهذه الطريقة تمَّ تعيين حدود محطة العصر الحجري الحديث.

بالقرب من مدينة شيبتوفكا توجد خرائب مدينة إيزياسلاڤل التي أُحرقت إبان الغزو التتري لروسيا. درس علماء الآثار قسماً من المدينة، وهو المحاط بسورها القديم. ولكنهم لم يعثروا على ضاحية المهن اليدوية، ذلك أنَّ أيَّة آثار لها

لم تكن متكشفة على سطح الأرض. حينذاك استعانوا بالمقياس المغناطيسي، واستطاعوا بوساطته العثور على أفران الفخار العائدة إلى تلك الأزمان الغابرة.

بالقرب من مدينة أوديسا، الميناء الأوكراني الأكبر على البحر الأسود، توجد أطلال مدينة أولڤيا، حيث، أيضاً يعمل علماء الآثار بدأب وجدٍّ كبيرين منذ زمن طويل. غير أن قسماً من أطلال المدينة قد غرق، وموجود الآن في قاع البحر الأسود، في منطقة قريبة من الشاطئ. هنا استخدموا الطرق الصوتية في الاستكشاف. جهاز يشبه المرجاع[١] يوضع على باخرة تبحر فوق القسم الغارق من المدينة بمسارات متوازية. أثناء هذا يتمُّ تسجيل تضاريس قاع البحر، وتعرُّجاته مهما صغرت بأجهزة تسجيل مخصصة لذلك. وأثناء قطع السفينة لمسارات معينة رُسمت نتوءات تدلّ على وجود جدران، وشوارع. ويرسم منحني هذه التعرُّجات بالمسارات المتوازية، أمكن بيان مخطط القسم الغارق من المدينة. وغدا واضحاً إلى أي مكان يجب إرسال رجال الضفادع البشرية للقيام بالأبحاث تحت الماء.

ينكبُّ علماء الآثار في بيلاروسيا على دراسة المناجم القديمة لأسلافنا البعيدين، حيث استخرج عمال المناجم الفخار من طبقات الحوار لأول مرة، وذلك لاستخدامه في تصنيع أدوات العمل. هنا، وبالاستعانة بقياس المقاومة النوعيّة للخامات أمكن ملاحظة التراب الذي تجمَّع مع الزمن في مدخل المنجم.

في شمال غرب شبه جزيرة القرم[٢]، وبالقرب من المدينة اليونانية القديمة كالوس – ليمن، قام متحف خيرصون[٣] بحفريات للبحث عن ڤيلا قديمة جداً. وقام العاملون في قسم سانت بطرسبرغ بأخذ الصور هناك بوساطة جهاز

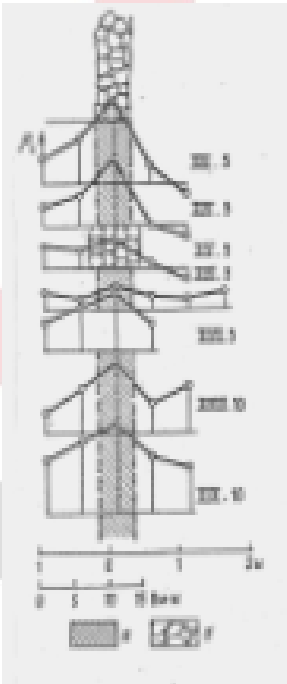
---

(١) **المرجاع**: جهاز ملاحي صوتي يصدر الأصوات ويستقبل رجع صداها فيقيس المسافة بينه وبين الأعماق. (المترجم)

(٢) **القرم** أو **الكْريم**: شبه جزيرة روسية تفصل بحر الآزوف عن البحر الأسود تتبع الآن أوكرانيا.

(٣) **خيرصون**: مرفأ في أوكرانيا قرب مصب نهر الدنيبر في البحر الأسود. (المترجم)

استكشاف كهربائي. وكانت النتيجة أن تمَّ رسم مخطط البناء قبل الشروع بالحفر، وتمَّ تعيين مكان الغرف على المخطط، وحتى الكوى في الأبواب، وذلك عن طريق القيمة المرتفعة للمقاومة النوعيّة. بعد هذا تمَّ غرز أوتاد صغيرة في المكان حسب المخطط، وشُدَّت الحبال على امتداد الجدران. عندما بدؤوا بالحفر تبيَّن، وسط ذهول الحاضرين، أنَّ الحبال جاءت تماماً فوق جدران الغرف.



الشكل (١٢)

منحنيات المقاومة الكهربائية النوعيّة الظاهرية فوق جدار الڤيلا الأثرية المنتشلة من تحت التراب.

الأرقام الرومانية تدل على أرقام المقاطع.

الأرقام العربية تدل على توزع A B بالأمتار.

a – وضعية الجدار المحدد بالمنحني ρ_k.

b – أقسام من الجدار فتحت فيها فتحات للبحث عن المعادن.

في شبه جزيرة القرم، وعلى أطراف مدينة سيڤاستوبل، توجد خرائب واحدة من أكبر وأقدم المدن في جنوب روسيا. هي مدينة خيرصونس. وفي ضواحي المدينة الأثرية توجد بضعة مدافن أثرية كبيرة تعود إلى وقت مبكر من القرون الوسطى. حفرت القبور في أضرحة (جبانات) نحتت في طبقات الصخور الكلسية. لم تكن رؤية هذه الأضرحة على السطح ممكنة. وأتيحت رؤيتها فقط بعد سبع سنوات من العمل المشترك لفرق الأبحاث من قسم الجيوفيزياء في جامعة موسكو الحكومية، ومعهد لينينغراد للتعدين. أثناء البحث جُرِّبت مختلف الطرق الجيوفيزيائية على مختلف أنواعها، وأشكالها.

حفر أسلافنا القدامى قبور الأضرحة (الجبَّانات) في الصخور الكلسية الهشَّة، أما القاسية فجاءت منها السقوف، والأرضيات، وهذا ما أعطى هذه المدافن عمراً أبدياً. والحجر الجيري (الكلسي) القاسي ناقل رديء للتيّار الكهربائي، وهذا ما جعل منه عائقاً حال، لمدة طويلة، دون نجاح محاولات العثور على المدافن بطرق الاستكشاف الكهربائي. وجُرِّبت احتمالات كثيرة، ومتنوعة للاستكشاف. وتمَّ الإبقاء على الطريقة المسماة طرح الحقول، التي تتيح جزئياً تعادل قوة تأثير الطبقة العليا غير الناقلة للكهرباء، وبالتالي تحييدها.

جاءت نتائج الاستكشاف الزلزالي مؤكِّدة للمعطيات التي تمَّ الحصول عليها بالاستكشاف الكهربائي. حيث تمَّ اختراق سماكات الأحجار الكلسية بوساطة الأمواج الصوتية.

لا شك أن رسم الخرائط الجيوفيزيائية للمواقع الأثرية هو من أهم قضايا جيوفيزياء الآثار، لكن إمكاناتها لا تقف عند هذا. فلا تقل أهمية، وكمية المعلومات التي يمكن الحصول عليها إذا ما درسنا عيِّنة (مكان) أثرية في مقطعها العمودي مستعينين بالجيوفيزياء. ونقصد هنا طريقة السبر الكهربائي العمودي.

تغصُّ مساحات أوروبا الشرقية بالمدن المنثورة على امتدادها، والمعزَّزة دفاعياً من قبل قاطنيها الدائمين على مرِّ أزمان مختلفة. وهي لا تزال تحتفظ بمنشآتها الدفاعية حتى أيامنا هذه من أسوار، وخنادق. إن دراسة هذه التعزيزات أمر له أهمية فائقة بالنسبة لدراسة فنّ التحصين في العصور التاريخية المختلفة، وإعادة بناء الشكل الأوَّلي للتحصينات، وتوضيح عوامل بقائها. غير أنَّ نبش مثل هذه المنشآت الضخمة من تحت التراب هو عمل يقتضي بذل الكثير من الجهد والمال، ناهيك عن أنه عمل بطيء، وذو حجم كبير. فمدينة لوكوفكا التي ظهرت إلى الوجود في أواسط الألفية الأولى للميلاد، بقيت قائمة حتى القرن الثالث عشر. تطلَّب البحث في أمرها إيضاح بنية أسوارها، والشكل الأوَّلي الذي نفِّذت عليه. وأظهرت نتائج القياس أنَّ تصميم النظام الدفاعي للمدينة مختلف في قسميه الشمالي والجنوبي. كما أنَّ زمن تشييد كل منهما مختلف هو الآخر. فالنظام الشمالي في الحالة التي وصل إلينا فيها شُيِّد في الزمن الذي وُجدت فيه ما نسميها الطبقة الثقافية النشيطة. وهو على الأرجح عصور روسيا القديمة.

يمكن كشف المعادن القريبة من سطح الأرض بكاشفات الألغام. والطبقة العليا من التربة غالباً ما تحوي المعادن بكثرة، لكن هذه المعادن لا قيمة تاريخية لها. فهي إما آثار حروب، أو بقايا لنشاطات اقتصادية بشرية معاصرة. وقطع المعادن هذه تعرقل عمل علماء الآثار. لذا لا بدّ من الاستعانة بكاشفات الألغام لإيجادها، وإزالتها بسرعة. ومع كل هذا فلم يتمَّ استثمار كلّ إمكانات الجيوفيزياء في علم الآثار بشكلها الكامل بعد.

في المناطق القريبة من البحار توجد آثار كثيرة للحياة القديمة. ويمكن تحديد أماكن السكن، بشكل خاصّ، من كمية الفخار الكبيرة المتوافرة. ويمكن الاستعانة بالاستكشاف المغناطيسي للبحث عن بقايا المداخن القرميدية في

بيوت أسلافنا البعيدين جداً. إن أحجار القرميد (الطوب) التي وجدت هناك قريبة بخواصّها المغناطيسية، إلى حدّ كبير، من الخزفيات التي سبق الحديث عنها. ونذكر للمناسبة مثلاً، أنه في بلدة شايغين في منطقة بارتيزان عُثِر على أفران لصهر الحديد. وهذا أيضاً هو عيِّنة بحث يساعدنا المقياس المغناطيسي في العثور عليها.

في المتحف المحلي لمدينة إيڤانو - فرانكوفسك توجد لُقى قديمة عثر عليها علماء الآثار. وتعرض في الواجهات أدوات عفا عليها الزمن. كان أسلافنا في الزمن الغابر يستخدمونها كالمناجل، والمعاول الحديدية، وقد عثر عليها في مداخن سارمات في قرية أوستروڤيتش، وخزفيات منذ عهد الاستيطان الطرابلسي (التريبولي) وجدت في قرية نيزاڤيسكو، وأدوات حفر أخرى في قرية باتوتشيشه، وغورادينكو، وغيرها. وأثناء تنفيذ مثل هذه التنقيبات يمكن تخفيض الجهد الذي يبذله علماء الآثار باستخدام الأجهزة الجيوفيزيائية. في المتحف المحلّي لمدينة سوخومي(١) تعرض أدوات برونزية أثرية كثيرة لعلّ أهمها كنز من الفؤوس (البلطات) البرونزية التي عثر عليها فوق جبل سوخومي، وسبائك برونزية، وأدوات من مدفونات العصر البرونزي. ونحن نعلم أن الأدوات البرونزية ناقلة جيدة للكهرباء لذلك يمكن البحث عنها بالاستعانة بالاستكشاف الكهربائي.

في مكان ما من قاع خليج سوخومي يوجد قسم غارق من مدينة قديمة كانت تسمّى ديوسكورياد. والعثور على هذه المدينة الغارقة أمر له أهميته الكبيرة لدى علماء الآثار. وأثناء البحث عنها يمكن للمرجاع أن يلعب دوراً كبيراً جداً.

---

(١) **سوخومي**: عاصمة جمهورية أبخازيا ذات الاستقلال الذاتي والواقعة ضمن الأراضي الجيورجية. وهي ميناء ومصيف جميل جداًعلى البحر الأسود.

يوجد في بيتسوندا[١] معبد أُنشئ في القرنين العاشر والحادي عشر الميلاديين، ينتمي إلى آثار القرون الوسطى المتميّزة بفنّ عمارة رائع. يقوم الآن هناك متحف تاريخي. لكن الكثيرين لا يعلمون أنه بالقرب من المعبد توجد مستوطنة رومانية قديمة. كشف عن قسم منها أثناء أعمال الحفر، والتنقيب. هذه الحفريات قادت إلى الكشف عن قلعة صغيرة بقي منها بقايا جدران، وأبراج، ومعبد قديم، وحمامات، وتمديدات للمياه. والقسم الثاني من المستوطنة لا يرى من على السطح، وإنما أظهره الاستكشاف الكهربائي. ورسمت خريطة لبقايا جدران المستوطنة الأثرية. كلّ هذه الأعمال قام بها العاملون في معهد جاواخيشفيلي للتاريخ، والآثار، والإثنوغرافيا في أكاديمية العلوم الجيورجية في العهد السوفييتي.

بالقرب من قلعة بزيبسك، وفي الطريق إلى بحيرة ريتسا[٢] يوجد برج حراسة. وهناك أسطورة تقول إن ممرّاً تحت الأرض يصل البرج بالخارج. هذا الممرّ يمكن إيجاده، فقط، بالاستعانة بالجيوفيزياء. وتحديداً بالطرق الكهربائية، والمغناطيسية. وغالباً ما تكون هناك ممرّات تحت الأرض في القلاع القديمة أو المعابد تؤدي إلى مصادر المياه، أو الكهوف. والبحث عن هذه الممرّات الفارغة تحت الأرض ممكن تماماً. كما تمَّ البحث عن المناجم في سماكات الطبقات الحوارية.

في مدينة غاغرا[٣] يوجد متحف للأسلحة القديمة، التي عثر عليها أثناء التنقيبات في الأراضي الأبخازية. يعرض المتحف أسلحة من أزمنة مختلفة. مثل رؤوس النبال، وكرات لمقلاع العصر الحجري، وفؤوس قتالية، وخوذات، وخناجر من العصر البرونزي الحديث، وأسلحة من الحديد –

---

(١) **بيتسوندا** منتجع ساحلي صغير في أبخازيا شمالي سوخومي. (المترجم)

(٢) **ريتسا**: بحيرة صغيرة في أبخازيا شمال بتسوندا.

(٣) **غاغرا** : منتجع بحري جميل شمال غرب بتسوندا في أبخازيا على البحر الأسود.

تروس، وخوذات، ودروع، وزرد. إن هذا المتحف الصغير، والمنظم بذوق رفيع يترك في النفس اهتماماً كبيراً. وكم من القطع والأدوات المعدنية، والبرونزية مازال دفيناً في الأرض؟ وهذه القطع، والأدوات المعدنية هي ناقل جيد للكهرباء، ويمكن إيجادها بالاستعانة بالاستكشاف الكهربائي. أما السيوف، والزرد فهي مواد قابلة للمغنطة، وبالتالي يمكن أن يساعد الاستكشاف المغناطيسي في البحث عنها.

في متحف مدينة سوتشي[١] المحلي تعرض أدوات عثر عليها أثناء الحفريات الأثرية. ومن ضمنها وعاء بيفوس كبير لحفظ الحبوب، أو الخمور عثر عليه في مدافن سارمات. وهو مصنوع من الخزف، وبالتالي كان يمكن العثور عليه بالاستكشاف المغناطيسي. وتوجد على قواعد العرض في المتحف سبائك النحاس والبرونز، ورصاصات الصنارات، والأساور البرونزية، والبلطات. وكل هذه القطع المعدنية التي عثر عليها في منطقة سوتشي كان من الممكن العثور عليها بالاستعانة بالاستكشاف الكهربائي.

إن المعروضات الأثرية الكثيرة التي تعكس صورة الحياة في خليج هيلينجيك[٢] يتمُّ عرضها في المتحف المحلي لمدينة هيلينجيك. وتتطلَّب حركة البناء المعاصرة، والسريعة في المنطقة أن يقوم علماء الآثار بتفحص كل المساحات المعدة للبناء. وهذا ضروري كي لا يتسبب البناؤون بالصدفة بالضرر للقى الأثرية الثمينة. وما زال أمام العاملين في متحف هيلينجيك المحلي عمل كبير جداً. وبالطبع على الجيوفيزياء تقديم العون في هذا. إن وقفة إنسان العصر الحجري الحديث على شواطئ

(١) **سوتشي**: منتجع بحري جميل وشهير على الشاطئ الروسي على البحر الأسود. (المترجم)

(٢) **هيلينجيك**: مدينة صغيرة على الشاطئ الروسي على البحر الأسود جنوب شرق مدينة نوفوروسيسك. (المترجم)

خليج هيلينجيك، وتلال الرأس السميك، والأعمدة الإغريقية القديمة، كل هذا يشكل عينات طيبة للجيوفيزياء. ويمكن أن نصادف في مجموعات العمل الجيوفيزيائي متحمسين يساعدون علماء الآثار في الكشف هنا عن أسرار الأزمان الغابرة. ومن الممكن أن يصبح من يطالع هذا الكتاب أحد هؤلاء المتحمسين. لأن في كثير من مناطق العالم مازالت الأبحاث والتنقيبات تجري على قدم وساق للحصول على عينات من الماضي السحيق لدراستها.

وهكذا تلعب طرق البحث الجيوفيزيائية الدور الرئيسي في الكشف عن أسرار الماضي. وستفيد هذه القضية كثيراً من التعاون، والتنسيق بين كل من الجيوفيزيائيين، وعلماء الآثار، والباحثين المحليين. وبدأت الجامعات تخريج المهندسين الجيوفيزيائيين المتخصصين في علوم الآثار.

(١٠)

الجيوفيزياء تساعد في عمليات البناء والبحث عن المياه الجوفية



- تبدو أشباه الصخور غير ناقلة للتيّار الكهربائي والأساسات المتجمدة لسنوات طويلة تتلف أنابيب التمديدات.
- الكهرباء تساعد على رؤية المياه الجوفية في باطن الأرض.
- الحجر الكلسي + الماء = كارس.

أثناء مدّ خطوط نقل النفط، أو الغاز، أو إنشاء جسر على سكة حديد، أو محطة توليد كهرومائية لا يمكن الاستغناء عن الجيوفيزياء، حتى إنَّه لابد منها في بعض عمليات إنشاء البنايات العادية.

... صخور، وبينها نهر. هنا يلزمنا إنشاء سدّ، وبناء محطة كهربائية توضع فيها العنفات. ونحتاج عند إقامة مثل هذه الإنشاءات الضخمة، والثقيلة إلى إشادتها على قاعدة متينة. وإذا كانت الإنشاءات تشاد في الجبال فإنه يجب استخدام صخور متينة في القاعدة.

يظهر أن كل صخرة تختلف عن الأخرى. والصخور التي تظهر من الخارج متينة وصلبة، يمكن أن تحتوي على فقاعات، ومناطق ضعف. حتى إن الاختلافات في سماكات الصخور غير الظاهرة للعين المجردة، تؤثر حتماً على خواصّها الفيزيائية. وأوّل ما يتغير هو المقاومة النوعيّة الكهربائية: من ٥٠٠٠ إلى ٥٠٠٠٠أوم. متر للعيّنات غير المتشققة. ومن ٥٠٠٠ إلى ١٠٠أوم. متر للعيّنات ذات شقوق التروية. إذ تمتلئ التجاويف الصغيرة بالماء، ما يخفِّض المقاومة النوعيّة الكهربائية لكل العيِّنة (تكون الخامات الصخرية كلها في الحالة الطبيعية مشبعة بالرطوبة بدرجة تكبر، أو تصغر). لهذا السبب يجب القيام باستكشاف كهربائي في المكان الذي يراد إشادة منشآت ضخمة فيه كالمحطات الكهرومائية مثلاً. تساعد نتائج هذا الاستكشاف الذي سيدرس المقاومة النوعيّة للصخور مباشرة، حسب توضُّعها الطبيعي، في إيجاد مناطق الضعف، والانهيار في الصخور حيث لا يمكن إقامة أيّة سدود، ولا إشادة أيّة مبانٍ.

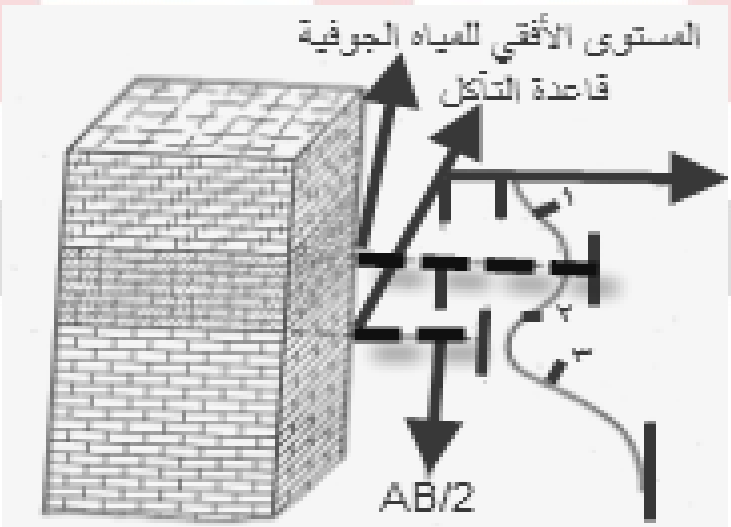
إن الصخور التي تحتوي على الغرافيت خطرة جداً. فقد حصل أن وضع أساس ثقيل جداً فوق صخور كهذه بلا اختبار، وانزاحت أقسام من الصخور ذات الحرشفات الغرافيتية بالنسبة للأقسام الأخرى تحت تأثير ضغط الأساس الثقيل. وأخذت أقسام من الأساس تنزاح وراءها. فالغرافيت عمل هنا عمل المادة الدهنية. وأخذ البيت المشاد بالتحرك ما ترك شقوقاً واضحة عليه. لكن هذا كان سابقاً. أما الآن فيعمل الجيوفيزيائيون في المنشآت الضخمة، وإذا ما ظهرت أقسام ضعيفة في الصخور التحتية، فإنهم يختبرونها بحفر الآبار، أو الحفر العميقة. وفي حال الضرورة يتمُّ نقل المنشأة إلى مكان جديد، أو تتخذ إجراءات خاصّة لتقوية الأساس.

يتمُّ إنشاء خط حديدي. وتمدُّ السكك فوق الردميات. وتعبر الخطوط الحديدية إلى المحطة. في المحطة يجب أن تتوافر المياه. وفي الردميات يجب توفير الرمل والأنقاض كمواد إنشائية. كل هذا يجب على الجيولوجيين، والجيوفيزيائيين توفيره. لكل من هذه العيّنات – الماء والرمل - مقاومته النوعيّة الكهربائية الخاصّة. فالماء لا يتمتَّع بمقاومة نوعية عالية، فهي تقريباً ١٥٠أوم. متر والرمل الجاف ذو مقاومة نوعية أكبر، فهي تصل إلى ١٠٠٠أوم. متر. لهذا عند قياس المقاومة النوعيّة لخامات الصخور في منطقة الإنشاء يمكن القيام بالبحث عن المناطق المرملة، والأقسام المشبعة بالماء. ويمكن التنبؤ بأماكن يُفترض فيها تراكم رمال كثيفة حيث ستكون المقاومة النوعيّة عالية هناك. أما في الأقسام حيث تسجّل شذوذات لمقاومة نوعية منخفضة فيُفترض توافر مناطق مشبعة بالماء. تؤخذ المعطيات التي يتمُّ الحصول عليها لتدقق من قبل الجيولوجيين، والحفّارين. فيأتون بالحفّارات إلى هنا، وينفِّذون الحفر في المناطق التي يحددها الجيوفيزيائيون، ما يخفِّض التكاليف بشكل كبير.

إنها سيبيريا، والجليد، والمناطق المتجمِّدة، ومنذ أعوام طويلة تقف مقطورات البنائين الحمراء، وتلمع شرارات تنبعث من آلات عمال اللحام كالنجوم المتلألئة. هنا يتمُّ بناء خط أنابيب في وقت قصير جداً. لكن ماذا سيحدث صيفاً؟ سوف يذوب جليد المستنقعات، وأقسام من المناطق المتجمدة منذ فترات طويلة وبسبب هذا ربما غيَّر الأنبوب تموضعه: تنهار نقاط الارتكاز بسبب الذوبان، وتبدأ الأنابيب إثر ذلك بالانحناء فالانكسار، وهنا لابد لتجاوز هذه التعقيدات من اللجوء إلى الجيوفيزيائيين. وبالاستعانة بالأجهزة يتمُّ اختيار مناطق أكثر تماسكاً ولا ترتخي بفعل الذوبان تحت تأثير حرارة الصيف. تعرف هذه المناطق بميزة خاصّة بها ألا وهي المقاومة الكهربائية النوعيّة العالية المرتبطة بالجليد.

أثناء مدّ خطوط النفط، أو الغاز، وفي الكثير من ساحات الإنشاء لابدّ من تحديد مناطق الذوبان المحلي على خلفية الكتل الهائلة من الصخور المتجلِّدة. ويتمُّ هذا بالاستعانة بطرق النمذجة، والسبر الاستكشافي الكهربائي. إن وجود مناطق

ذات قيم المقاومة الكهربائية النوعيّة العالية هو دليل واضح على توافر خامات متجمدة في باطن الأرض. وإذا ما تمَّ إنشاء بناء فوق منطقة ذوَّابة في الصيف فمعنى هذا أن جهد البنائين ضائع، ولا بدّ للبناء أن ينهار عن بكرة أبيه. ولا بدّ أيضاً قبل الشروع بالبناء من تحديد مناطق الشقوق لتفاديها. وهنا يلعب الاستكشاف الكهربائي الدور الرئيس، وتتمتَّع طرقه التي تُنفَّذ دونما أي تلامس بخصوصية، وفاعلية متميّزتين. ذلك أن حشر الإلكترودات في ظروف الردميات المتجمِّدة أمر في غاية الصعوبة. ونستطيع تصور صعوبات العمل مع مثل هذه التجهيزات إذا علمنا أن مساحة المناطق المتجمِّدة أزلياً تبلغ أحياناً نسباً مئوية عالية من مساحات بعض البلدان. فهي على سبيل المثال تبلغ في روسيا ٤٧% من المساحة الكلية للبلاد، وهي تزيد على ذلك في كندا.



الشكل (١٣)

المنحني المميّز للسبر الكهربائي لخامات كربونية في منطقة كثيرة الشقوق.

١ - ارتفاع قيمة المقاومات النوعيّة نتيجة قلّة تكشُّفات الخامات.

٢ - انخفاض قيمة المقاومات النوعيّة نتيجة لوجود المياه الجوفية.

٣ - ارتفاع قيمة المقاومات في مناطق الخامات الكثيفة والمتينة.

تتعرَّض الأنابيب الممدودة في الأرض للتآكل نتيجة لتأثير عوامل فيزيائية، وكيميائية متنوعة. إن أنابيب التمديدات مصنوعة من المعدن، وهو ذو مقاومة نوعية متدنية جداً. ولهذا تسري عبره كل التيّارات التي تسري في الأرض، سواء من تسريبات خطوط التوتر العالي، أو الخطوط الحديدية المكهربة أو... إلخ. وتسري التيّارات في أنابيب التمديدات إلى أن تبلغ منطقة تكون فيها المقاومة النوعيّة للردميات المحيطة بالأنبوب منخفضة جداً، وهناك تسري التيّارات إلى الأرض حاملة معها أيّونات المعدن. وهكذا تتمُّ عملية التآكل الكهركيميائي للأنابيب المعدنية. لهذا ينبغي مدُّ الأنابيب في منطقة من الردميات غير النشطة على صعيد التآكل الكهركيميائي. وكما تظهر المعدَّلات الفعّالة، فإن مثل هذه الأقسام تتصف بمقاومة نوعية عالية.

يوجد في روسيا مجموعة من مناطق انهيالات التربة. وعلى رأسها مناطق الڤولغا وشبه جزيرة القرم (تتبع الآن أوكرانيا)، ومدن واقعة على الضفة اليمنى للڤولغا مثل غوركي وساراتوڤ وأوليانوڤسك وغيرها. وهذه المدن تعاني بشكل دوري من الانهيالات. لذلك تنفَّذ هناك بعض الأعمال التي تحدُّ منها. وهنا يحتل الاستكشاف الكهربائي مكانه لدراسة الانهيالات. فقد تبين أنه يمكن رسم خريطة للانهيالات باعتماد استكشافين معاً، مغناطيسي، وميكروزلزالي بدرجة عالية من الدقَّة. كما يمكن تحديد جهة هذه الانهيالات، وسرعة حركتها، وتتبُّع المجرى الذي تتحرك فيه الانهيالات.

غالباً ما تكون المياه العذبة هي المقصودة بالبحث والتنقيب بكلا شكلي تواجدها الحرّ تحت الأرض سواء على شكل تيّارات جوفية أو تجمُّعات للمياه العذبة. وللماء مقاومة نوعية منخفضة، وهذا ما يستدعي البحث عنه بالاستعانة بالاستكشاف الكهربائي، وعلى سبيل المثال باعتماد طريقة السبر الكهربائي العمودي. يمكن البحث في الصحارى عن المياه بطريقة الاستكشاف الكهربائي بأجهزة تحملها الطائرات. وستدلّ الذرا على شريط المنحني على مناطق توافر المياه في رمال الصحراء. كما أن الاستكشاف الكهربائي يساعد في البحث عن

المياه الارتوازية، ومياه الشقوق في أعماق الأرض، أو المياه ذات التوزُّع العشوائي، أو المتجمِّعة في كهوف كارستية(١) في باطن الأرض.

لا تكتفي الجيوفيزياء بالبحث عن المياه، وإنما تقوم بدراسة حركة المياه الجوفية. ويجب من أجل هذا إضافة الملح إلى الماء ما يؤدي إلى تغيير المقاومة النوعيّة للسطح الأفقي للمياه لجهة الانخفاض. تكمن المسألة هنا في استجلاء منطقة المقاومة النوعيّة المنخفضة – السطح الأفقي للمياه المملَّحة. بقي أن نقول إن إضافة الملح إلى الماء تتمُّ من خلال بئر.

... عندما يتجمَّد الماء، تزداد مقاومته النوعيّة زيادة كبيرة. وهذا ما يفسِّر ازدياد المقاومة النوعيّة لخامات الصخور ذات الرطوبة العالية. فإذا ما كانت المقاومة النوعيّة للحجر الرملي ذي الرطوبة الطبيعية ما بين ٢٠٠–٤٠٠ أوم. متر فإنها في حال التجمُّد ستبلغ ما يزيد عن عشرة أضعاف هذه القيمة وربما تصل إلى ما بين ٣٠٠٠–٥٠٠٠ أوم. متر.

عام ١٩٧٩م صدر عن دار نيدرا (الأعماق) في موسكو كتاب ممتع هو «الهيدروجيولوجيا المسلِّية» للمؤلف أ. لاريونوف. عرض المؤلف في هذا الكتاب طرق البحث واستكشاف المياه الجوفية. ولم يغفل المؤلف عن إيلاء الجيوفيزياء الاهتمام الذي يليق بها. وكان ذلك في معرض حديثه عن الاستكشاف بطريقة السبر الكهربائي، والنمذجة، والمسح الزلزالي.

تستخدم على نطاق واسع في أيامنا هذه طريقة النمذجة الراديوكهرطيسية في البحث عن مصادر المياه. وقد ابتكر هذه الطريقة مجموعة من العلماء السوفييت ا. تارخوف و إي. سيديلنيكوف وأ. فيشيف. إن طبقة المياه الناقلة للكهرباء تعكس الأمواج الراديوية. ولهذا يلاحظ عامل التشغيل، وأجهزته الموجودة على سطح الأرض قيماً شاذّة للقوة المحركة الكهربائية (EDC)

---

(١) **كارست** (كارس Kars) هضبة في صربيا تنسب إليها ظواهر تنشأ في الصخور الجبلية الرسوبية المنحلة في الماء كالصخور الكلسية والجص وتنتهي إلى أشكال عمقية من حفر وتجاويف وأغوار وكهوف. (المترجم)

المتناسبة مع توتر حقل الموجات الراديوية. وهنا أشار العلماء إلى احتمال وجود المياه في المناطق التي تعطي قيماً شاذّةً لهذه القوة.

إن خامات الكربونات تغطي مساحة كبيرة من سطح الأرض. فهي تغطي ٤٠% من مساحة روسيا الاتحادية مثلاً. وهذه الخامات قابلة للانحلال وبالتالي فهي تنهار تحت تأثير الماء مشكِّلة سطوحاً من مختلف الأشكال في الكهوف، والأغوار، والأخاديد. ينتج عن هذا أن الخامات الصخرية الكارستية سوف تكتسب خواصّاً فيزيائية أخرى، وهذا أمر يجب أخذه بعين الاعتبار سواء في الجيولوجيا الهندسية، أو في مجالات استكشاف مكامن الثروات الباطنية.

إن الكهوف الكارستية غالباً ما تصادف في مناطق شبه جزيرة القرم، والقوقاز، وألتاي، والأورال. وينتج عن تسرُّب مياه السطوح ورشحها أن يأخذ مستوى الماء في الكهوف أشكالاً تجميعية معيَّنة، كالصواعد (من الأرض)، والنوازل (من السقف). إن للكهوف الكارستية أشكالاً معقَّدة جداً بما يتفرَّع عنها من دهاليز، وأنفاق. وفي قاع النفق يمكن أن تكون هناك بحيرة. وأثناء القيام بمنشأة هيدروتقنية، سدّ مثلاً، يمكن للتجاويف الكارستية أن تكون ممرّاً للمياه المتسرِّبة من مكان تجمُّعها، أو أن تفتح طريقاً للتيّارات المائية حول السدّ. في حالات العمل في المناجم تعيق التجاويف الكارستية مرور المنجم أو يمكن لها أن تكون قناة يمرّ عبرها تيّار الماء إلى المنجم، ويتسبَّب في ملئه بالماء. وهذا بالضبط ما حصل في منطقة كيزيلوفسكي، وسلسلة من المناطق الأخرى، حيث يتمُّ استخراج الفحم الحجري. فبعض المناجم المؤمّلة لم يتمَّ استثمارها بسبب عدم التمكُّن من إيقاف تيّارات الماء عبر التجاويف الكارستية في مناجم الاستخراج.

لدراسة الكارست يمكن اعتماد طرق جيوفيزيائية متنوعة. والبحث المركّب سيكون أكثر كمالاً. إلا أن أفضل النتائج، وأكثرها فعالية هي ما يمكن انتظارها من الاستكشاف الكهربائي. فالأخاديد، والتجاويف، والماء هي ما سيشكِّل سبباً للتغيُّر الحادّ في الخواصّ الكهربائية للمناطق الكارستية.

تلاقي كل طرق الاستكشاف الجيوفيزيائي استخداماتها العملية في الجيولوجيا الهندسية. فالكاروتاج الإشعاعي يفيد لتفتيت الخامات الصلصالية: يلاحظ ارتفاع في قيم أشعّة غاما على مخطط غاما – كاروتاج مقابل الطبقات المتراكمة من الصلصال.

لدراسة إرساء قواعد بناء ما يكفي تقصّي عمق ليس كبيراً. وفي هذه الحال تستخدم المحطات الزلزالية المحمولة. ويمكن حمل التجهيزات الخاصّة بهذه المحطة في محفظة كبيرة. مولِّد أمواج مرنة – قضيب معدني أو حجر كبير تُضرب الأرض به. في أبسط أشكال المحطات الزلزالية المحمولة هناك قناة واحدة، وبالتالي مستقبل زلزالي واحد. وهذه المنظومة كافية لإبراز الأساس الصخري تحت الرمال، وأنواع الردميات وتقصّي مكان وضع أنابيب التمديدات وحتى التنقيب عن الآثار على أعماق تصل إلى عشرات الأمتار. عامل التشغيل ينظر في شاشة الجهاز، ويحسب من خلالها سرعة انتشار الموجة المرنة التي تحدثها الضربة. وهذا بحدّ ذاته مؤشِّر خاصّ على طبيعة الوسط الجيولوجي. وبالانتقال من نقطة إلى أخرى يكمل عامل التشغيل دراسة المقطع، ويكوِّن تصوُّراً عن الوسط الجيولوجي في المكان المدروس.

إن تصدّع الصخور، وطبقات الحجر الرملي السطحية، والكارست، ومستويات حفظ، أو تسريب الماء، والانهيالات، والمناطق المتجلِّدة ما هو إلا قائمة قصيرة من المواضيع التي تدرسها الطرق الجيوفيزيائية. واليوم نرى الجيوفيزيائيين يعملون في الكثير من الشركات التي تقوم بإنشاء المحطات الكهربائية، أو مدّ أنابيب التمديدات، أو السكك الحديدية، أو إنشاء أقسام المصانع. أو ربما نراهم أعضاء فاعلين في البعثات العلمية الهيدروجيولوجية، والجيوهندسية.

إن ما بدأه سيميونوف، ونيستيروف في عشرينيات، وثلاثينيات القرن الماضي من استخدامات هندسية للجيوفيزياء أصبحت اليوم فرعاً مستقلّاً للأبحاث الجيوفيزيائية، يقوم على تطويره علماء جيوفيزيائيون كبار أمثال أ. أوغيلڤي، و ڤ. خميليڤسكي وغيرهم.

(١١)

الأجهزة الجيوفيزيائية في الطبيعة الحيَّة



- أعضاء حواس الحيوانات والأجهزة الجيوفيزيائية
- الأسماك والكلاب والغنم والنمل تحسّ بالزلازل قبل وقوعها.
- الكلاب «الجيولوجية» تشارك في البحث عن الخامات.
- البيونيك كأحد عناصر جيوفيزياء الغد.
- الأسباب المحتملة للعامل الجيوفيزيائي الحيوي وآفاق استخدامه مستقبلاً.

على مدار الوقت يبحث الجيوفيزيائيون عن الأفكار، والمبادئ الجديدة التي يمكن أن تشكل أساساً لابتكار أجهزة جديدة تساعد في عمليات البحث، والتنقيب عن الثروات الباطنية. وتعتبر دراسة خصائص بنية الأجسام الحيَّة

واحدة من سبل البحث العلمي عن الحلول. وهذا ما يسمّى بالاتجاه الحيوي في البحث العلمي. وتطبيقاً لهذا الاتجاه في الطرق الجيوفيزيائية المستقبلية فسوف ندرس الحلول الممكنة التي يمكن أن تساعد عليها الأجسام الحيَّة.

تؤثر جميع الحقول التي تدرسها الجيوفيزياء على الأجسام الحيَّة، كالحقول المغناطيسي، والكهربائي، والجاذبوي، والزلزالي، وغيرها. فضلاً عن أن هناك من النظم الحيَّة ما يشكِّل حقلاً كهرمغناطيسياً، وصوتياً، كما أنها تتأثَّر بالرائحة أيضاً. ويوجد في الطبيعة، وتحديداً في الأجسام الحيَّة، تجهيزات (ميكانيزمات) مماثلة ومشابهة لكل التجهيزات التي يستعملها الجيوفيزيائيون.

إن جهاز التقاط رجع الصدى لدى الخفاش يستحق، وبجدارة، أن يقارن بالأجهزة التي ابتكرها، وصمَّمها الإنسان لتلتقط صدى الأصوات، أو الأمواج الراديوية. ويوجد لدى الأسماك الاستوائية أعضاء تماثل في وظيفتها التجهيزات المستخدمة في الاستكشاف الكهربائي. ولدى الأفعى ذات الأجراس عضو يتحسَّس تغيرات الحرارة مهما بلغت من الضآلة. كما أن قناديل البحر تتحسَّس الاهتزازات الصوتية ذات الترددُّات البالغة الانخفاض، التي تنذر باقتراب العاصفة. وقد أوردنا في كتابنا «الجيولوجيا والطبيعة الحيَّة» تفصيلات ممتعة عن هذه الأعضاء، وعن مقارنتها بالأجهزة الجيوفيزيائية.

من المعروف أن بعض الحشرات تملك أعضاء تتيح لها تحسُّس الاهتزازات الميكانيكية الضعيفة جداً، والإزاحات الصغيرة جداً في المكان من درجة جزء من ملياردات من السنتمتر. من هذه الحشرات خنفساء الماء (العَوْمَة)، كما أن العناكب تحسُّ بأبسط الاهتزازات في شبكتها. ولدى الأفاعي يلعب الجلد دور الأغشية المرنة الحسَّاسة جداً للاهتزازات. إن هذه الأعضاء، والأجهزة لدى الحيوانات، والحشرات، والزواحف لا تتأخر في أدائها عن أجهزة قياس الزلازل، ونستطيع الإفادة من تقليدها في تصميم تجهيزات جديدة.

لدى الأجسام الحيَّة بعض الأعضاء التي يمكنها إجراء تحاليل فيزيائية، وكيميائية لمواد ذات تركيز متناه في الصغر. وبعض الأسماك فائق الحساسية

للرائحة، ويستطيع تحسُّس رائحة المواد الفوّاحة مهما كان تركيزها صغيراً. وفي المستقبل يمكن للأعضاء الحسَّاسة لدى بعض الأجسام الحيَّة التي يمكن القول عنها بأنها كواشف بيولوجية أن تكون أنموذجاً مستقبلياً لحسَّاسات تقنية جديدة.

في حكاية تعود إلى ٣٢٣ ق.م. ورد ما يلي: «قبل عدّة أيام من الزلزال الذي هدم مدينة هيليكيوس في اليونان القديمة خرجت الخلود وبنات عرس والأفاعي وأمهات أربع وأربعين من جحورها تركض هاربة في كلِّ اتجاه». هذا النصّ المقتبس من مصدر مغرق في القدم يشغل في أيامنا اهتماماً كبيراً لدى العلماء.

كان إي. موشكيتوف واحداً من أوائل العلماء الذين انتبهوا إلى السلوك الغريب لدى الحيوانات قبيل الهزَّة الأرضية في مدينة ڤيرني[1]. وحسبما أورده نيكونوف حديثاً بعد دراسة مصادر كثيرة فإنه على امتداد خمسة عشر عاماً تبدأ في عام ١٩٧٢م. سُجِّلت، على الأقل ٢٥ هزة أرضية لوحظ قبل كل منها سلوك غير طبيعي للحيوانات. ولهذا تلعب مراقبة سلوك الحيوانات الحيَّة دوراً مفتاحياً في توقُّعات الزلازل. ونحن نعلم عن حالات رصد فيها الرعاة ما خيِّل إليهم أنه سلوك غريب للحيوانات قبيل وقت قليل من الهزَّة الأرضية. وقد وصف أحد الشعراء سلوك النعاج قبيل الزلزال بشعر جاء فيه:

عند بزوغ الفجر حملت عصاي ومزماري
وقدت قطيعي إلى المرعى
كان النور قد تسلَّل لتوِّه إلى الشعاب
والحملان ترتع مرحة بين رجلي
لكن النعاج أحسَّت بمصيبة

---

(١) تسمّى الآن **ألما** – آتا وقد كانت إلى عهد قريب عاصمة جمهورية كازاخستان كبرى جمهوريات آسيا الوسطى السوڤييتية سابقاً. (المترجم)

وأخذت تضرب الأرض بـــأظلافها
وآذانها منتصبة بتيقُّظ
فالمروج والدروب أخذت بالتأرجح ...

هذه المقطوعة جزء من ملحمة شعرية تسمّى «الجبل الأسود الجريح» كتبها الشاعر الصربي يولي ستانيشيتش إذ ترك الزلزال الذي حدث في الجبل الأسود في ١٥ نيسان /أبريل/١٩٧٩م. أثراً عظيماً في نفسه.

من وجهة نظر بيولوجية يبدو سلوك الحيوانات ردَّ فعل على اضطرابات تحسُّ بها بشكل من الأشكال ولم يعرف مصدرها بعد. إنما، وبكل الأسف، لم تتمَّ دراسة هذا الموضوع علمياً بعد. ولسدّ النقص الحاصل في هذا الجانب من المعرفة بدأت بعض الدول منذ ما قبل نهاية القرن الماضي بالاهتمام، وتوفير الإمكانيات اللازمة. فقد أنشأ الاتحاد السوفييتي السابق حقل اختبار خاصّ بدراسة التأثير البيولوجي للزلازل على الكائنات الحيَّة. وخصَّص لذلك حقلاً مساحته ٣٠ هكتاراً بالقرب من مدينة ألما -آتا. وفيه تمَّ الاحتفاظ بقطعان من الحيوانات التي يُفترض أنها تحسُّ باقتراب الهزَّة الأرضية. ويُعرف الآن حوالي ٧٠ نوعاً من الحيوانات التي يبدو أنها يمكن أن تفيد في عملية رصد وتوقُّع الزلازل. من بينها المرموط، وهو أحد أنواع القوارض. أثناء أحد الزلازل في كازاخستان عام ١٩٧٨م صعدت المراميط إلى سطح الأرض قبل الهزَّة الأرضية بـــ ١٢ ساعة وهذا ما لاحظه الرعاة. وتدخل الثعابين في عداد المتزلفين، ففي جنوب كازاخستان، في محافظة تشيمكنت رأى الناس في الشتاء أفاعي متجمِّدة تزحف على الإسفلت، وفي تلك الأيام نفسها لوحظت هزات قوية تحت الأرض في العاصمة الأوزبيكية طشقند. كما أن الخيل، والبقر، والغنم، والخنازير، والكلاب، والقطط، والجرذان، والفئران يمكنها الإحساس باقتراب الهزَّة الأرضية. وهناك معلومات أكيدة عن أنه قبيل زلزال عشق أباد، العاصمة التركمانية، بساعة ونصف الساعة غادر النمل مستعمراته.

كان عالم الحيوان البروفسور ب. ماريكوفسكي يقود العمل في حقل الاختبار المنوَّه عنه أعلاه. وقد جمع هذا البروفسور كل ما تراكم من معلومات تمَّ جمعها في هذا المجال في كتاب أصدره عام ١٩٨٤م. وقد ورد في هذا الكتاب أن الناس يعرفون منذ القدم أنَّ الدرَّاج يصرخ، والكلاب تنبح، والأسماك ترمي بنفسها إلى الضفاف قبيل الهزَّة الأرضية. ولكن العلماء لم يعيروا هذا أيَّ اهتمام في الماضي. أما الآن، وكما نرى، أصبح سلوك الحيوانات قبيل الهزَّة الأرضية مادة للبحث، والتمحيص العلميين.

توجد سلسلة من الفرضيات عن التغيرات التي تحصل في الحقول الفيزيائية بسبب العمليات التي تنشأ في الأرض قبيل الهزَّة الأرضية. وهي تؤثر بدورها على الأجسام الحيَّة. ومن ضمن هذه الحقول نذكر الحقل الكهرمغناطيسي الذي تظهر شذوذاته قبل أيام، وساعات، ودقائق من بدء الهزَّة الأرضية، وتنتشر هذه الشذوذات على مساحات واسعة.

تظهر الأبحاث البيوفيزيائية أن التأثير الأكبر على الكائنات الدقيقة يأتي من الحقول الكهرمغناطيسية الطبيعية ضمن مجال من ٠,٠١ – ٢٠ هرتز. وهذا المجال يتطابق مع المجال ومع التوازن الحيوي للدماغ، ونستنتج من هذا أنه حتى الحقول الكهرمغناطيسية الطبيعية الضعيفة يمكنها أن تحدث تأثيراً ملحوظاً، وهذا ما اكتشفه البيولوجيون. لهذا يمكن أن تكون تغيرات الحقول الكهرمغناطيسية التي تسبق الهزَّة الأرضية والأصوات، بما فيها الأصوات تحت، وفوق السمعية، والظواهر الكهرسكونية (الإلكترستاتيكية)، وطرح الغازات، وغير ذلك من الظواهر الفيزيائية، والكيميائية. كل هذا يمكن أن يكون سبباً في ردّ فعل الحيوانات.

يدرس العلماء علاقة النشاط البيولوجي للأجسام بعمليات الأرصاد الجوية. وهناك الكثير من الدلائل التي تعكس المعلومات التي تراكمت لدى الناس على مر العصور عن العلاقة بين الشعور النفسي للإنسان، أو الحيوان، والطقس.

يظهر سؤال يطرح نفسه. هل يمكن استخدام البشر في التنبؤ بحدوث الزلازل؟ كالذين يعانون من ارتفاع ضغط الدم مثلاً، وهم المعروفون بحساسيتهم الشديدة لأيِّ تغيُّر في الوسط المحيط. وهنا تجب الإشارة إلى أن العلماء يعملون منذ زمن طويل على دراسة موضوع نقل المعلومات من الوسط الخارجي إلى الأجسام الحيَّة. أثناء عملية التطور كانت الحالات الأخيرة تتماشى دائماً مع الظروف الخارجية. ويستدعي انحراف مواصفات العمليات الخارجية عن الحدِّ الطبيعي له، خاصّة منه ما يؤثر على حياة الأجسام، والمتعلِّقة ليس فقط، بالزلازل، وإنما بالأعاصير، والسيول، والعواصف المغناطيسية، كل هذا يستدعي ردَّ فعل دفاعي. وردود الأفعال هذه يمكن استغلالها، أحياناً، لرصد الظواهر الطبيعية.

والآن تجري عملية توعية كبيرة في أوساط السكان الذين يعيشون في منطقة نشطة زلزالياً. ويجري لفت اهتمام الناس إلى ضرورة مراقبة الحيوانات، وخاصّة في حال ملاحظة سلوك غير طبيعي لها. إذ يجب إيصال مثل هذه المعلومات إلى المراكز العلمية المعروفة، التي يعمل فيها العلماء على مواضيع التنبؤ بالزلازل. إن هذا عظيم الفائدة على الرغم من أنه لا يمكن اعتبار الحيوانات متنبئين كفوئين.

عام ١٩٧٥م. حدث في الصين زلزال كبير. كان قد تمَّ التنبؤ به بدرجة كبيرة من المعلومات التي قدمها السكان المحليون عن سلوك مختلف الحيوانات، وخصوصاً ما لاحظه الناس من زحف الثعابين على الثلج قبيل بداية الزلزال. وعندما تمَّ تجميع عدد كبير من مثل هذه الملاحظات، وقام المختصون بمعالجتها افترضوا قرب حدوث الزلزال. وقد تحققت النبوءة.

يمكن أن يشغل هذا الموضوع اهتمام أحد القراء. ويمكنه الإدلاء بدلوه والمشاركة في عمليات المراقبة الكبيرة إلى جانب المختصين من بيولوجيين، وبيطريين، وجيوفيزيائيين، وعمال المحميّات، والمزارع. إن مشاركة جيل

الشباب من أصدقاء الطبيعة أمر طيب جداً، خاصّة وأن دراسة هذا الموضوع من وجهة نظر علمية لم يمضِ عليها زمن طويل.

عند دراسة الروائح يأتي دور الكلاب. ونعلم من علم المعادن أن الرائحة الصادرة عن معادن منفصلة هي أحد الأدلة التي تشير إلى وجود هذا المعدن. وهذه الرائحة تصبح أقوى، وأكثر انتشاراً إذا ما تمَّ تعريض المعدن لصدمات قوية. مثلاً يصدر كل من الزرنيخ، وبيريت الزرنيخ(١) رائحة الثوم عند طرقه. وتميّز رائحة غاز الكبريت الخامات السولفيدية. كما أن الغازات النفطية تملك رائحتها المميّزة. لهذا كله بدأ جيولوجيو كاريليا باستخدام الكلاب في البحث عن المناجم.

يحفّظون الكلب رائحة الفلزّ الخام، وذلك بتشجيعه، وإعطائه طعاماً طيباً، أو حلوى. بعد ذلك يخفون عيّنة الفلزّ الخام تحت الأعشاب، ويطلق الكلب للبحث عنها. وهكذا يروّضونه. بعد هذا يأخذ الجيولوجي الكلب من رسنه إلى ظروف عمل الحقل، ويعطيه أمراً أن «شمَّ»، وينطلق الكلب باحثاً عن عينات الخامات. ذات مرة كتب أحد العطارين كتاباً عن الروائح التي كانت في دوارق خاصّة بالعطور المخصّصة للتعليم، والصور الإيضاحية. واقتضى الوضوح أن تكون صفحات الكتاب مزوَّدة بصفائح من فلزّات المعادن، وذلك ليسهل أمر تمييزها، بعضها عن بعض. ويقوم العلماء الآن بدراسة بنية أعضاء الشمِّ. وقد بدؤوا منذ أواسط ثمانينيات القرن الماضي بإنتاج أجهزة يمكننا تسميتها «أنوف كهربائية» مستخدمين وصفة الطبيعة.

إن ما أوردناه أعلاه يُظهِر أنه من تحليل بنية أعضاء الحسّ في الأجسام الحيَّة يمكن الوصول إلى ابتكار أجهزة للاستكشاف الجيولوجي. وربما ساعدت عناصر البيونيك مستقبلاً في زيادة الرصيد من الأجهزة

---

(١) **بيريت الزرنيخ**: هو فلزّ سولفا أرسينيد الحديد، أحياناً يكون مختلطاً بالذهب، ويعتبر الخام الرئيس في إنتاج الزرنيخ. (المترجم)

المستخدمة في الجيوفيزياء. وأحياناً، كما هو الحال عند تعليم الكلاب، يمكن استخدام أعضاء حواس الحيوانات المروَّضة.

هنا من الممتع أن نتحدث عن العصا السحرية. فشعار مدينة بيتروزاڤودسك في كاريليا لصيق بالنشاط التنقيبي. إذ رسمت عليه مطارق في وضع متصالب. وإضافة إلى هذا فقد تضمَّن الأمر الإمبراطوري الذي أصدرته الإمبراطورة كاترينا الثانية[1] والذي أقرَّت فيه شعار المدينة في ١٦ آب/ أغسطس/١٧٩٨م[2]. إضافة رسم صفصافة يمكنها المساعدة في البحث عن الخامات!! هكذا تقول كتب تاريخ كاريليا والوثائق المرفقة بها. فحمل الصفصافة المعنية في البحث عن الخامات كان في ذلك الزمان صفة مميّزة لعمال التنقيب. وما زال البعض يتحدث، ويكتب عن هذا حتى في عصرنا الحاضر.

هناك قصص منذ زمن قديم تتحدث عن ناس تؤثر القشرة الأرضية على أجسامهم، وخاصّة إذا ما كانت تحتوي على طبقات معدنية، أو ماء. والحقيقة المعروفة عن هذه القضية تكمن في التالي: إن الإنسان الذي يخرج للبحث عن مكامن الخامات في منطقة معينة ماسكاً في يده غصناً ملفوفاً يحسُّ إذا ما مرّ فوق عيِّنة من الخام المبحوث عنه أن العصا تميل نحو العيِّنة. أُطلق على هذه العملية التي تستعين بالعصا في البحث، وهذه العصا غالباً ما تسمّى الصفصافة، اسم البحث بالصفصافة (أطلق عليها حديثاً اسم العامل البيوجيوفيزيائي)، والشخص الذي يقوم بالبحث مستعيناً بالصفصافة يسمّى منقِّباً، أو باحثاً. وقد وردت تفاصيل هذه العملية في كل من الكتب القديمة، والمعاصرة أيضاً.

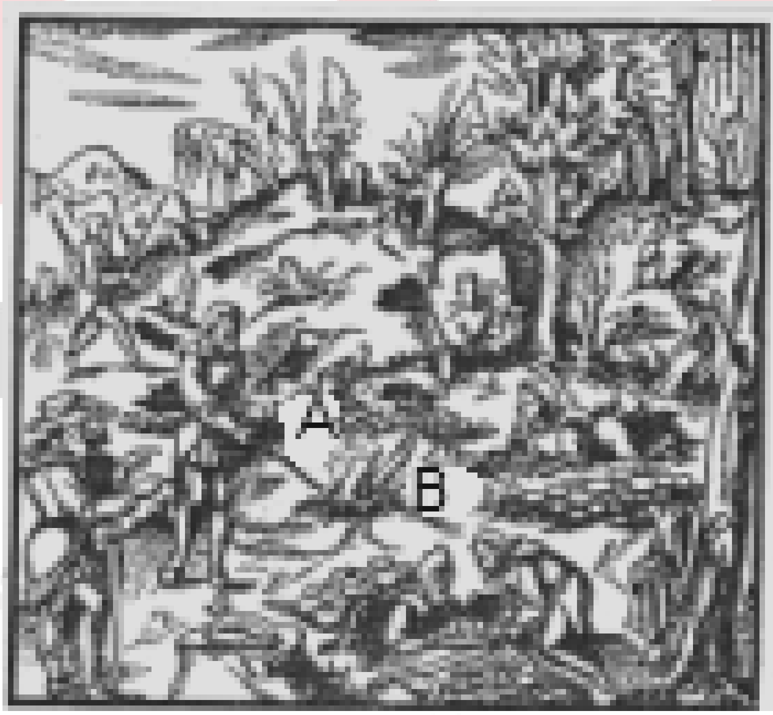
---

(١) **كاترينا الثانية** (١٧٢٩–١٧٩٦) الإمبراطورة الأشهر المعروفة بالكبيرة. إمبراطورة روسيا منذ ١٧٦٢م. خلعت زوجها بطرس الثالث وحلت محله. اشتهرت بانتصاراتها على الأتراك وبحمايتها الفلاسفة والعلماء ومنهم اليسوعيون. ذكرت عنها الكثير من الحكايات المشينة، ولا يؤكد الكثير من المؤرخين صحتها.

(٢) هكذا وردت في الأصل مع أن المراجع تقول أن كاترينا الثانية توفيت في ١٧ تشرين الثاني /نوفمبر/ عام ١٧٩٦ م. (المترجم)

إن المصادر التي تتحدث عن هذه الظاهرة جاءتنا من أعماق الزمن، ومن الملفت للنظر أن هذه الطريقة في البحث كانت في ذلك الزمن مألوفة، واعتيادية كالجيوكيمياء، أو الاستكشاف الكهربائي في أيامنا هذه. في ذلك الزمن كانت عملية البحث بالصفصافة تتمتَّع بتفسيرات صوفية بحتة، وكان هذا أمراً طبيعياً.

يمكن القول أن أول ظهور للكتب التي تتحدث عن البحث بالصفصافة كان في عام ١٥٠٠م. فقد أورد أغريكولا، وهو أهم المختبرين الطبيعيين في عصره على الإطلاق، وصفاً للبحث بالصفصافة كطريقة معتمدة في التطبيق العملي.



الشكل (١٤)

صورة أثرية محفورة، توضح الأعمال في المناجم

– البحث عن خامات الحديد بمساعدة قضبان الصفصاف (A)،

ومعالجة عمال المناجم لهذه الخامات (B).

لكن في ذلك الزمان كانت قد بدأت تتالى معلومات تقول إنَّ هذه الأبحاث ليست ناجعة دائماً. لهذا طالب أغريكولا بالحذر، والحيطة. ونصح بإيلاء أهمية كبرى، قبل كل شيء، لدراسة الوضع الجيوتعديني.

في كتاب العالم الروسي الكبير ميخائيل لومونوسوف الذي يحمل عنوان «الأسس الأولية لعلم التعدين أو فنّ التنقيب عن المواد الخام» والمطبوع عام ١٧٦٣م. ورد ذكر الباحثين بالصفصاف. ففي فصل «عن شوكات البحث عن الخامات» نقرأ ما يلي:

«للوصول إلى مناجم عروق الخامات يستخدم بعض الناس العاملين في التنقيب عصا، على شكل شوكة بشعبتين يمسكون بها بطريقة معينة بأصابعهم. وهذه العصا تدور ذاتياً عند الاقتراب من مكان وجود الخامات، أو المعادن، وخصوصاً منها الذهب، والفضة. لكن يمكن لأيّ إنسان عاقل أن يتساءل إلى أيَّة درجة يمكن تصديق هذا؟ البعض اعتبر هذا حركة طبيعية، وسجَّلوا قوى جذب للمعادن مدَّعين أنَّ هذه المعادن تجذب عصا البحث هذه إلى نفسها بفعل هذه القوى. ولكن حسب منطق الأشياء، والتفكير السليم لا يمكن التسليم بوجود هذه القوة في المعادن. لأن شعبتي الشوكة المثنيتين لا تنجذبان نحو المعادن والخامات بيد أيّ إنسان، أو في أيّ مكان. وحتى إذا ما قربناها نحو هذه المعادن والخامات فإنها لا تنجذب دائماً. وهكذا لو أن هذه الحركات كانت حقيقية وفعلية لثبتت كناموس طبيعي، وغير متأثرة بالوقت أو الإنسان. ولكانت بقيت على تأثيرها دائماً، وفي أيّ مكان».

يتضح مما كتبه لومونوسوف أنه في ذلك الزمان البعيد لم يكن العلماء قد توصلوا إلى رأي واضح حول حقيقة عامل البحث بالصفصاف. وأحد العوامل التي تمسّكت، ولا زالت، بنظرة سلبية للبحث بالصفصاف كان عدم الدقَّة في استخراج النتائج أولاً، ثم علاقة هذه النتائج بالشخص الذي يستخدم عصا الصفصاف.

إن المواضيع المتعلقة بالتفسير العلمي للبحث بمعونة عود الصفصاف ما زالت قيد البحث من قبل العلماء في أيامنا هذه. غير أنه لا يوجد حتى الآن رأيٌ موحَّد، ليس فقط حول أسباب هذه الظاهرة، وإنما حول وجودها بشكل عام.

تعتقد مجموعة من العلماء بوجود عامل الإحساس البيوجيوفيزيائي عند الإنسان تجاه التغير في الحقول الفيزيائية، وهذا ما يسمح بالاعتقاد بعدم تجانس بنية الطبقة القريبة من السطح في القشرة الأرضية. يتضح ردّ فعل الإنسان في التشنّج الذي يصيب العضلات، وبالتالي انحراف عود الصفصاف. فأيّ الحقول بالضبط هو الذي يؤثر على الأعضاء الحسّاسة؟ لم يتضح الأمر بعد. ولا زال هذا السؤال مفتوحاً، ودونما إجابة.

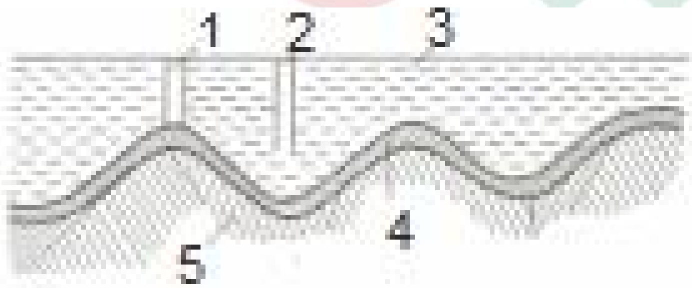
المجموعة الأخرى من العلماء تنفي وجود العامل البيوجيوفيزيائي، وتعزو انحراف عصا الصفصاف إلى الخصائص النفسية، والفيزيولوجية للإنسان. وهم يعتبرون، مثلاً، أن الإنسان الذي يحمل الصفصاف (يستبدلونه الآن غالباً بإطارات سلكية معلقة)، قد يتعرَّض لتوترات عصبية تظهر بنتيجتها تقلصات عضلية عفوية، وبالتالي تهتز الإطارات نتيجة لها. ويمكن أن تحدث حالة تطابق بالصدفة بين انحراف الإطار ومكمن العينّة التي يتمُّ البحث عنها.

يؤكد العلماء الذين يؤمنون بوجود العامل البيوجيوفيزيائي أن حقيقة فتل الإطار تلاحظ عند ٧-١٠% من البشر فقط. ويفترضون أن هذه الحساسية هي واحدة من مجموعة مواهب أخذ الإنسان يفقدها على التوالي مع التقدم الحضاري الذي يعيشه، وقد كانت فاعلة بدرجة كبيرة لدى أسلافنا القدماء. هناك معطيات تقول أن الباحثين، على مختلف مشاربهم، يختلفون في درجات إحساسهم بهذا العامل. إن منطقة بعينها تثير ردّ فعل قوي لدى باحثين من ذوي الحساسية الفائقة حتى على مسافة كبيرة من

مركز هذه المنطقة إذا ما قارنا ذلك مع باحثين من ذوي الحساسية الضعيفة. بعد إتمام العمل يحسُّ الباحثون بالتعب، والإرهاق كما أن حساسيتهم نحو بعض المناطق الإشكالية تأخذ بالتخامد مع الزمن.

غالباً ما نقرأ عن حالات قام فيها الباحثون بالبحث عن المياه، ولم تكلل جهودهم بالنجاح دائماً، وإنما لقيت في بعض الأحيان الفشل الذريع. وتستعرض نماذج من أعمال بحثية قام بها بعض الباحثين، كانت تنتهي إلى الفشل بشكل دوري تقريباً، كأن تحفر مجموعة من الآبار في مناطق مختارة، ولا يعثر على المياه إلا في واحدة منها.

يتمُّ اللجوء إلى الباحثين في حالات كثيرة وخاصّة عندما تُحفر بئر بعمق يصل إلى مابين ٢٠–٣٠ متراً ولا يُعثر على الماء. فغالباً ما يجد هؤلاء الباحثون ضالتهم في الجوار القريب من مناطق الفشل ما يوفِّر الوقت، والجهد، وأدوات، وتجهيزات العمل.



الشكل (١٥)

مخطط يوضح البحث عن بئر قليلة العمق (سطحية)، ويظهر المستوى الأفقي للمياه.

١ - بئر فيها ماء.

٢ - بئر لم تصل إلى الماء.

٣ - طبقة التربة.

٤ - المستوى الأفقي لسطح المياه الجوفية.

٥ - خامات باطنية نافذة عبر المياه، تتوضّع تحت المستوي الأفقي للمياه.

يذكر أحد الكتَّاب أنه شارك في تجارب أجريت في ضواحي مدينة لڤوف في غرب أوكرانيا بهدف بيان تأثير المجال المغناطيسي على الباحثين. لم يحسّ الباحثون بتأثير المجال الذي ينشأ في الإطار المشكَّل من سلك معزول، ومدفون في التراب. وكان الباحثون من الجيوفيزيائيين المختصّين الذين تشكِّل دراسة العامل البيوجيوفيزيائي لديهم هواية محببة يمارسونها في أوقات فراغهم. وقد قاموا بالتجربة على الشكل التالي: مرَّروا التيّار الكهربائي في الإطار بشكل متقطع بحيث لم يعرف الباحثون لحظة مروره من عدمها.

يتابع العلماء أبحاثهم بغية فكّ رموز شيفرة العامل البيوجيوفيزيائي. والآن تكمن هذه القضية الأساسية في بحث هذه الظاهرة بشكل علمي، وهذا يقتضي تطبيق رقابة بيوفيزيائية صارمة على حالة جسم الباحث، واستخدام أجهزة جيوفيزيائية دقيقة لرصد طبيعة التأثير الفيزيائي على جسم الإنسان. وما لم تُحلّ هذه المسألة لا يمكن الحديث عن الاستثمار الصناعي لهذا العامل.

تورد المراجع العلمية في هذا الشأن حالات توصَّل فيها الباحثون إلى نتائج متنوعة: مستويات وجود الماء، اتصال الخامات الصخرية فيما بينها، أو تلامسها، الخلل العشوائي، الجيوب الفارغة، المواد الحديدية، الأسلاك التي يمر فيها تيّار كهربائي... إلخ.

إن اختلاف هذه المواضيع وتنوعها من حيث طبيعتها الفيزيائية يؤكد أنه لا يمكن تفسير، أو ربط حدوثها بتأثير حقل واحد بعينه. ومن الواضح أن الباحثين إنما يستشعرون مجموعة من التأثيرات التي تشكِّلها حقول فيزيائية مختلفة.

إن حقيقة حساسية مجموعة من البشر نحو الحقول الفيزيائية لا تستدعي الدهشة، طالما أن الخلايا الحيَّة قد تعرضت على امتداد كل مراحل تطور الطبيعة لتأثير حقول فيزيائية خارجية، وهذه الخلايا تستطيع التفاعل مع هذه الحقول بطريقة أو بأخرى. ونذكر بالتحديد أن أيّ حقل غير قياسي يجب أن

يؤثر على جسم الإنسان، ويصبح بالإمكان البحث عن العيّنات المتنوّعة في مواضيعها والتي تسبب عدم التجانس في توزيع الحقول (المواد الحديدية، الجيوب الفارغة، الإنشاءات الأثرية، وما إلى ذلك).

إن تأثيرات الحقول القوية كالعواصف المغناطيسية، أو كميات الإشعاع القوية، أو ما شابهها قد تمَّت دراستها بشكل دقيق. فالعواصف المغناطيسية تؤدي إلى خلل ملموس في نشاط القلب، والأوعية الدموية. في حين تظهر الحقول الضعيفة تأثيراً لحظياً ضعيفاً على الجسم. وفي كل الأحوال تمَّ التأكد من وجود تغيرات في مواصفات مخطط عمل القلب لأحد الباحثين أثناء قيامه بالعمل.

تجب الإشارة هنا إلى أن عصا الصفصاف نفسها (أو الإطار السلكي) ليست حاجة ملازمة للبحث بالصفصاف. فهناك ما يؤكد أنه يمكن السير بيد ممدودة، في حين يستشعر باحثون معينون التأثيرات الخارجية بكامل أجسامهم.

أورد أحد الكتاب حديثاً أجراه مع شخص ذي إمكانات خارقة يدعى م. كوني. قال هذا الشخص أنه يستطيع العثور على المواد في الأرض عن طريق «الانضباط المركَّز» على حلّ هذه المسألة. تماماً كما لو كان يبحث عن إبرة مخبأة في جيب أحد الحاضرين أثناء العرض.

بالنظر لما ورد آنفاً لا بدّ من تدقيق درجات تأثير الحقول المختلفة على الإنسان مهما كانت صغيرة، وذلك عن طريق مراقبة عمل الباحثين بأجهزة بيوجيوفيزيائية دقيقة.

أريد، مرة أخرى، لفت النظر إلى أن الموضوع الذي يشكِّل أولوية هنا هو البحث العلمي للعامل البيوجيوفيزيائي، وما زال الحديث عن هذه الطريقة واستخداماتها المجدية سابقاً لأوانه.

إن التجارب التي أظهرت فتلاً، أو استدارات في التجهيزات، والوسائل التي استخدمناها تطرح مجموعة من الأسئلة التي نتحدث عنها، ولكننا نجد صعوبة بالغة في الإجابة عنها دون مراقبة جيولوجية صارمة. ويمكن أن يستثمر العامل البيوجيوفيزيائي على شكل تطبيق عملي لتجهيزة تقنية قائمة يُستوحى ابتكارها وتصميمها من الفكرة التي يقوم عليها هذا العامل، وتكون لهذه التجهيزة استخداماتها العملية في ميادين الإنتاج المختلفة.

كان الروس قد بدؤوا في العهد السوفييتي يولون أهمية محورية لاستخدام الطريقة الحيوية لتحديد مكامن الخامات، ورسم الخارطة الجيولوجية. وفي حلقة بحث نظمت في موسكو حول هذه المواضيع تحدث نائب رئيس أكاديمية العلوم السوفييتية الشهيرة حينذاك يو. أوفتشينيكوف، وقد كان عالماً جليلاً، عن أن استعمال طريقة البحث هذه يعطي نتائج مرضية في الاقتصاد، وليس هناك أدنى شك يطال أهمية دراستها[١].

ترك البيونيك أثره الفاعل على تطور البحث والتنقيب، واختيار أشكال أجسام السفن السريعة، وحلّ مجموعة من مسائل فنّ العمارة، وبقي عليه أن يقول كلمته في الجيوفيزياء.

(١) عن كتاب «استخدام الطرق البيولوجية في البحث عن مكامن الخامات ورسم الخرائط الجيولوجية» لمؤلفيه: سوتشيڤانوف ن. ن. و ستيتسينكو ف. س. و تشيكونوف أ. ن. الصادر عن دار «راديو إي سڤياز» في موسكو عام ١٩٨٤م. (ملاحظة المؤلفين)

(١٢)

هل هناك ضرورة لحماية مناطق المناجم!



- قياس قوة الثقالة الأرضية.
- المخابر الطبيعية للجيوفيزيائيين.
- حقول تجارب على امتداد البلاد.
- هل ننفق ما يكفي للمحافظة على الخامات الطبيعية.
- نستطيع جميعاً المشاركة في حماية النصب الطبيعية.

تكتسب حماية الأعماق أهمية فائقة في أيامنا هذه. وتسنُّ الدول القوانين، والتشريعات الخاصّة التي لا تلحظ حماية الثروات الباطنية فقط، وإنّما تؤكد على حسن استثمارها. ويتجه العالم إلى الاهتمام أكثر بمستقبل الأجيال القادمة في ظلِّ

استنزاف الثروات، والهدر الكبير في بعضها. إن طرق الاستكشاف الجيوفيزيائي تساعد في القيام بأعمال بحث، وتنقيب أمينة، وتمثل في حدِّ ذاتها وسيلة من وسائل حماية الأعماق التي لا تخلُّ بالنظام العام، ونواميس الطبيعة في الوسط المحيط.

إن التقنية الجديدة المعاصرة تمثِّل أحدث ما توصَّل إليه العلم من إنجازات في مجالات الفيزياء، وعجائب الإلكترونيات. وكل جهاز جديد يجب أن يخضع للاختبارات الدقيقة. إن أجهزة الجيولوجيين دقيقة جداً، ولكن العمل عليها لن يتمَّ في ظروف مخبرية، أو تحت قفص زجاجي حيث يمكن التحكم بالحرارة، والضغط والرطوبة، ومجمل العوامل التي تؤثر على قراءات هذه الأجهزة، وإنما تعمل هذه الأجهزة في ظروف صعبة للغاية، فهي تستخدم في ظروف صعبة جداً في غابات التايغا الشمالية الباردة، أو السهوب، أو الجبال، أو تحت الثلوج، أو أثناء الفيضانات المدارية، أو الرياح اللافحة. ويقال إن مثل هذه الأجهزة مخصَّص للعمل في ظروف ميدانية معيّنة. وإذا ما أريد استخدامها في مثل هذه الظروف فيجب اختبارها أولاً، كأن يتمَّ اختبارها في المناجم مثلاً.

إن المقاييس المغناطيسية، وهي أجهزة دقيقة للغاية، تمرُّ بمراحل اختبارات وتسجيلات مستمرّة في المرصد الجيوفيزيائي. وتتمتَّع الملاحظات وعمليات الرقابة على الخصائص الأزلية للحقل المغناطيسي للأرض بقيمة لا تقدَّر بثمن. فهي حاضرة، وفاعلة دائماً في كل اختراع، أو اختبار مخصَّص للنظريات الجديدة.

وقد حدث أن أُوصلت خطوط قطار ضواحي كهربائي إلى منطقة تجري فيها المراقبة، ووصلت إلى المكان مع خطوط الطاقة الكهربائية عقبات كهربائية. فكان لا بدّ من نقل المرصد إلى مكان آخر. وهذا ما أدّى إلى نقله عن ملاك وزارة الاتصالات، إلا أن قطار الضواحي الكهربائي وصل أيضاً إلى المكان الجديد، ما اقتضى نقل المحطة ثانية، فهي بحدِّ ذاتها تعتبر أحد أشكال المقاييس. فهي تؤمِّن اختباراً دقيقاً لأجهزة القياس المغناطيسية، التي يعتمد على قراءاتها في عمليتي رسم الخرائط الجيولوجية، والبحث عن الخامات. وهذا الانتقال من مكان إلى آخر يترك أثراً سلبياً على نوعية

الأجهزة الدقيقة، وعملها، وتصبح عملية تقسيمها إلى درجات أكثر صعوبة، وربما أعطت قراءات خاطئة عند البحث عن الخامات. لهذا لابدّ من أخذ حاجات الجيولوجيين بعين الاعتبار عند وضع الخطط العامة المستقبلية للتشييد والبناء. ويُنظر إلى الأمر كما يلي: يوجد لدى الجيوفيزيائيين بيوت صغيرة محشوَّة بأجهزة متنوِّعة، لكن هذه البيوت والأجهزة تعدُّ مقاييس لها أهميتها الحكومية الرسمية. والعامل مع البيت المليء بالأجهزة الجيوفيزيائية يجب أن يكون على نفس الدرجة من الانتباه والحذر، والتي تكون للتعامل مع أجهزة قياس أخرى كأجهزة قياس الطول، أو الكتلة.

ولمناسبة ذكر معايير قياس الكتلة، هناك وسائط متخصّصة للتأكُّد من عمل أجهزة قياس الجاذبية (الغراڤمتر) وهو جهاز يقيس قوة الجاذبية الأرضية. ولا يمكن لنا إعطاء تقييم كمِّي لهذه القوَّة، وبالتالي معرفة تأثير قانون نيوتن في حياتنا إلا باستخدام الأجهزة.

اكتشف الجيوفيزيائيون أنه في الطريق إلى المطار من مدينة سانت بطرسبرغ توجد منطقة تتأرجح فيها قيمة قوة الثقالة الأرضية، إذ تبلغ قيمتها رقماً أقصى لا يوجد أعلى منه في حالات التصور الجيولوجي. هذا الخلل الذي مصدره الطبيعة يلعب دور «المعيار الطبيعي». وهنا في الطريق إلى المطار يوجد رصيف معياري تُضبط عليه كل أجهزة قياس الجاذبية في عموم روسيا الاتحادية. ومن غرائب الصدف أن هذا الرصيف يبدأ في المدينة التي تنتج أجهزة القياس هذه، وينتهي في منطقة القرية الحمراء.

خارج المعيار الطبيعي لقوة الجاذبية الأرضية يبدو مركز الرصد هكذا:

ساحة مغطاة بالخرسانة (الإسمنت) تؤخذ فيها القياسات في نقطة بعينها. قيست فيها قيمة مجال قوة الجاذبية الأرضية بدقَّة متناهية، وهذا ما يسمح بتقسيم درجات الجاذبية.

تُجرى آخر اختبارات للأجهزة في المناجم نفسها، وعلى عروق الخامات الصخرية. إذ تُقارن قراءات الأجهزة المتنوعة في خصائصها التقنية على عرق

بعينه من الخامات الصخرية تماماً كما على المعيار نفسه. وحسب نتائج الأعمال تُختار الأجهزة التي تلائم البحث عن عروق الخامات الصخرية في المنطقة المدروسة. ويجب أن تُجرى هذه المقارنات كل عام. وغالباً ما يحصل التالي: يصل المختصون لإجراء المقارنات فيجدون أن العرق المختار خصِّيصاً لإجراء التجارب قد استُخرج، ونفد. فالمعيار قد فقد. وهنا تفقد كل المعلومات الجيوفيزيائية التي تمَّ تجميعها خصِّيصاً لهذه المقارنة، قيمتها. إنها، ببساطة، لاتصلح لاختبار أجهزة جديدة، وذلك لأنه لم يعد هنا عرق معياري.

ويقفز إلى الواجهة موضوع ضرورة اختيار أجزاء نموذجية معينة من المناجم لإبقائها، والحفاظ عليها من أجل الأبحاث العلمية، والتجريبية، والإنتاجية، وذلك ليستفاد منها في تعلُّم البحث عن مناجم مشابهة، وإعداد طرق، ووسائل هذا البحث. وهناك على سبيل المثال مكامن باراندوڤو في كاريليا حيث تُجرى أعداد كبيرة من التجارب على أجهزة جيوفيزيائية متنوعة. هذا المكمن يحتوي على البيريت – اتحاد الكبريت مع الحديد، وهو مركب لا قيمة صناعية له. لكنه يلعب دوراً هاماً جداً كمعيار قياسي لاختبار الأجهزة الجديدة ومقارنتها.

إضافة إلى كل ما سبق نقول إنَّ عروق الخامات هي إنجاز الطبيعة الفريد، والرائع الذي نعشقه، ونُغرم به تماماً كالورد، وجمال الصبايا. يوجد لدى الكثيرين منا بعض القطع الصخرية المزخرفة في المنزل. وبعضنا رأى عروق البيريت، أو الكوارتز، أو الميكا، أو غيرها من الفلزّات مباشرة، وفي الظروف الطبيعية، أو كما يُقال، في توضُّعها الطبيعي البكر، ودُهشَ لمنظرها. لكن كل هذه الثروة ليست دائمة. وعلينا، نحن وأولئك الذين سيأتون بعدنا، أن نقوم بأبحاثنا العلمية، والإنتاجية بنفس الوقت الذي نتغنى فيه بجمال عروق الخامات. ولهذا يجب التفكير جيداً بأيّة أقسام من أيّة مكامن يجب الاحتفاظ لجعلها محميّات جيوفيزيائية طبيعية.

أولى الروس، في زمن العهد السوڤييتي، أهمية كبرى للقضايا المتعلقة بتطوير شبكة المحميّات الجيوفيزيائية، وشرعوا قوانين لذلك. وقد ضمَّنوا

دستوراً أصدروه في عام ١٩٧٧م. فقرة تقول «كل المواطنين في الاتحاد السوڤييتي ملزمون بالحفاظ على الطبيعة، وحماية ثرواتها». وفقرة أخرى بعنوان «حماية بعض أجزاء الأعماق التي تتمتَّع بأهمية علمية أو ثقافية» ورد فيها «إن التكشفات الجيولوجية النادرة، والتشكُّلات المتميّزة للخامات، والعيِّنات الأحفورية، وغيرها من مكوِّنات الأعماق التي يمكن أن يكون لها أهمية علمية، أو ثقافية، يمكن إعلانها محميّات وفق قانون ينظم ذلك، كنصب طبيعية، أو ثقافية». ومن الواضح أن هذا يسمح للجيولوجيين، والجيوفيزيائيين القيام بأعمال تهدف إلى حماية الأماكن التي تتمتَّع بقيمة علمية، أو إنتاجية ثمينة.

ونقتبس مما كتب أحد كبار جغرافيي الاتحاد السوڤييتي السابق بهذا الخصوص ما يلي:

«إن البشرية المتحضِّرة تنظر إلى الآثار التاريخية بإجلال، وقدسية، وتؤمِّن لها أفضل الحماية، وأتمَّها، وتنفق على ترميمها المبالغ الطائلة. وقد أنشئت أعداد كبيرة من المتاحف لحماية الثروات الفنية الثمينة. وتحفظ ملايين الوثائق في أرشيفات مجهّزة بأحدث التقنيات المعاصرة، ويقوم على خدمتها عدد كبير من العاملين. لكن هذه الأشياء كلها من صنع يد البشر. ومعظمها يمكن استنساخه بدقَّة، وأعداد كبيرة بالرسوم، والصور، والأنموذجات. فلماذا إذاً نهتمُّ بحماية النصب الطبيعية والأدوات التي نعجز عن صنع ما يشبهها، ولو لدرجة بعيدة. إذ إنَّ الزوايا السليمة في الطبيعة البكر، ومكوناتها المستقلة، التي ما زالت محفوظة في ظروف الاستعمال الرشيد، تمثِّل أيضاً نصباً، ومتاحف، وأرشيفات، ومعايير، ومخابر، وموسوعات ستستمد منها البشرية المعرفة اللازمة لها على امتداد آلاف السنين، وإشباع حاجاتها المتزايدة من المعرفة، وخاصّة ما يتعلق بالفهم المتعمِّق للكون المحيط بنا».

(د. أرماند – لنا ولأحفادنا).

نتوقف أيضاً عند أحد المواضيع المتعلقة بمادة بحثنا هذا. إن عدد فروع العلوم الجيولوجية يزداد. وهذه الزيادة تعني حلّ مسائل بعينها، وهي شديدة

الخصوصية. ولكن بقدر ما يزداد تمايز العلوم وتباينها بقدر ما يتطلب الأمر تعميم النظريات. إذ إنَّ ما بقي من الجيولوجيا لم يعرف بعد هو أكثر بكثير مما نعرفه الآن. والأقسام المدروسة حتى أدقّ التفاصيل، والموجودة تحت المراقبة الدائمة، كالآبار العميقة جداً إنما تشكِّل «نوافذ» نطل منها على الأعماق الباطنية لأرضنا.

فيما بعد عمل عدد كبير من الجيولوجيين الروس في مجال إنشاء ميادين الاختبار التجريبية، والمحميات الجيولوجية، والجيوفيزيائية. وفي شمال غرب روسيا اكتشفت عيِّنات جيولوجية نوعيّة. وتمَّ تسجيلها، وتنظيم ما يمكن تسميته هويّة جيولوجية لكل منها، لاعتماد حمايتها بموجب القوانين النافذة في البلاد. من هذه العيّنات نذكر التكشُّفات في منطقة نهر أوريديج[1]، وظهور الغرانيت في منطقة ڤيبورغ[2]، وأجزاء من مكامن الكهرمان، والفوسفوريت، والبيغماتيت، وميادين قياس الجاذبية، والآبار المستقلة، والصخر البلوري، والغرانيتي في محميّة لابلان وغيرها. جاءت اقتراحات من المناطق الأخرى لحماية أجزاء فيها، كأجزاء محددة من جبال كاراتاو في محافظة جمبول جنوب شرق كازاخستان حيث مكامن لمعادن متعدِّدة، كخامات الڤاناديوم، والفوسفوريت، وكتلة من الغيبربازيت في كراك، وبارانتشيسكي جنوب الأورال[3]، وقسم من مكمن معادن متعددة ذات منشأ هيدرحراري ماغمي. والآبار ذات الأعماق الهائلة، وغيرها.

في شمال المنطقة الواقعة فيما وراء الأورال، والتي شُقَّت إليها السكك الحديدية في مشروع شهير سابق أطلق عليه اسم «بام BAM» وهو خطّ

---

(١) في محافظة سان بطرسبرغ شمال غرب روسيا.

(٢) مدينة صغيرة في شمال سانت بطرسبرغ. تقع على خليج فنلندا بالقرب من الحدود الفنلندية. (المترجم)

(٣) **الأورال** جبال في روسيا الاتحادية. هي الحد الفاصل بين أوروبا وآسيا. يصل ارتفاع أعلى قممها إلى ١٨٩٥ متراً.

حديدي يربط بين منطقة بحيرة البايكال(١)، ونهر الآمور(٢)، ومنهما أخذ هذا المشروع اسمه. بُدِئ العمل به في السبعينيات، وأنجز في ثمانينيات القرن الماضي. كان لا بدّ قبل البدء بالأعمال الجيولوجية، والجيوفيزيائية الكبيرة من التفكير بالأجزاء التي يجب حمايتها في هذه المنطقة البكر. وتمَّ على امتداد مشروع البام انتقاء أقسام جيولوجية تجب حمايتها. حتى الغابات التي لم يتمَّ قطعها بالكامل، وإنما تركت بعض الأقسام النوعيّة منها.

أثناء استثمار ثروات الأعماق في منطقة معيّنة لا بدّ من التفكير بحماية الأعماق، وبالتالي لا بدّ من تحسين فعالية ونوعية عمل الجيولوجيين.

تعدُّ منطقة كراسنويارسك في وسط وجنوب سيبيريا مستودعاً ثميناً لما تحويه من مناجم الحديد، والنيكل، والبوكسيت، ومعادن أخرى متعددة. ويمكن على أساس تحليل جميع أنواع المكامن التي تشكِّل ثروة المنطقة التي لا تنضب، تحديد تلك الأقسام التي لا بدّ من حمايتها، والإبقاء عليها لإجراء الأبحاث العلمية والإنتاجية. في جنوب المنطقة هناك مكامن المغنيتيت في «سامسون»، وخامات السولفيد في ألكسيّڤسكويه، والنحاس في بوسيلشوك. كل هذه المكامن لا قيمة صناعية لها، لكنه تمَّ حفر آبار عميقة فيها، وأحافير أفقية أيضاً، وهذه يمكن لها أن تستخدم لتجريب الأجهزة، ومقارنة الدراسات، والطرائق الجديدة. وقد أنشأت الجامعات في تلك المنطقة النائية من سيبيريا حقول الاختبار الجيوفيزيائية المتعدِّدة الأغراض والأهداف.

في جنوب منطقة كراسنويارسك توجد مجموعة من البحيرات. منها بحيرة شيرا ذات المياه المالحة تماماً كما في البحر، وبحيرة إيتكول ذات المياه العذبة، وبحيرة بيلي التي نصف مائها مالح، والنصف الآخر عذب. على

---

(١) **البايكال** بحيرة في جنوب شرق سيبيريا الوسطى تمتاز بنقاء وصفاء مياهها. مساحتها ٣١٥٠٠كم٢، وأعمق نقطة فيها ١٦٢٠ متراً.

(٢) نهر الآمور طوله ٤٤٤٤ كم. ومساحة حوضه ١٨٥٥ ألف كم٢. يقع في الشرق الأقصى الروسي. (المترجم)

شاطئ بحيرة شيرا أُقيم منتجع حديث، نما بسرعة كبيرة. لكن شيرا بالنسبة للجيوفيزيائيين هي قبل كل شيء أنموذج طبيعي فريد. غالباً ما تشاهد في المخابر الجيوفيزيائية صفائح معدنية غمرت في خزانات المياه، ما يمكن تسميته أنموذجاً للأجسام الخامية. يستحيل على الجيوفيزيائيين صناعة خزان هائل المقاييس لكن الطبيعة تهرع للمساعدة.

في ميدان اختبار في منطقة كراسنويارسك السيبيرية توجد محطة جيوفيزيائية. يقول الجيوفيزيائيون أنهم طبَّقوا فيها أساليب ميدانية في المراقبة بطريقة الاستقطاب المحرَّض على مكامن الماغنيتيت. هنا فقط في ميدان الاختبار، أو بكلام أدقّ في جزء منه، حيث يوجد مكمن سامسون، وحيث تمَّت دراسة المقطع الجيولوجي بشكل جيّد، يمكن إجراء مقارنة سريعة للنتائج التي تمَّ الحصول عليها مع خصائص المقطع الكهرجيولوجي، وإعطاؤها التفسيرات اللازمة، وتصميم أجهزة ذات حساسية فائقة لكتل الخامات. إن كل هذه الجهود التي تبذل، بما فيها جهود الشركات الإنتاجية تؤكِّد، مرَّة أُخرى، ضرورة إنشاء حقول الاختبار وميادينه. حيث تسمح الأقسام المختلفة في ميدان الاختبار بدراسة الطرق المخصّصة للبحث عن مكامن أخرى. إن ميدان التجارب يسهِّل عمل الجيوفيزيائيين، ناهيك عن أنه يوفر الكثير في الكلفة الاقتصادية.

وماذا إذا ما توجّهنا نحو البحر؟ إن المختصين في الشرق الأقصى يعتبرون أنه من المهم جداً إنشاء ميادين اختبار للطرق الجيوفيزيائية الفضائية، والاستكشاف الكهربائي بطريقة الراديوكيب. هنا تلاحظ في الأقسام المعيارية تغيّرات في المجال غاما، على شكل عيوب لا تخضع لتفسيرات الأجهزة.

يجب التفكير بحماية أجزاء من مكامن الكاسيتيريت التي سبق للجيوفيزيائيين دراستها.

(١٣)

البروق الصغيرة تعكس الخواصّ الفيزيائية للمعادن.



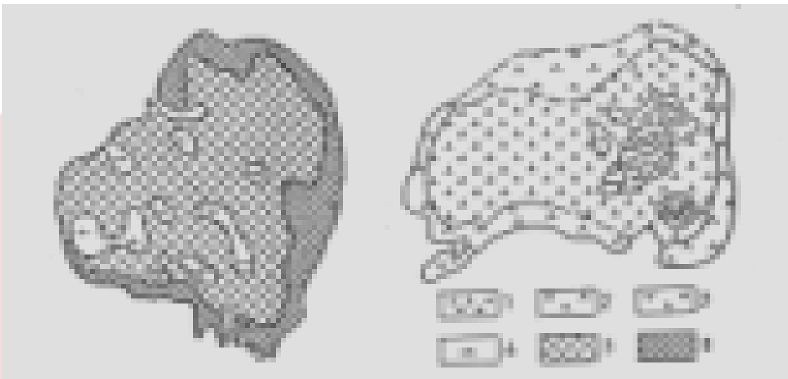
- **فارادي يضع أسس ناقلية المعادن للكهرباء.**
- **كيريليان يعرِّض لوحة حساسة (فيلم) لشحنة كهربائية.**
- **ماذا يحدث عندما تخترق الشحنة الكهربائية الفلزّات.**
- **مناطق المناجم تختلف باختلاف قيم القوة المحركة الكهربائية.**

في مقابلة مع الدكتورة في علوم الجيولوجيا والمعادن نينا دورتمان، وهي التي نذرت حياتها العلمية كلها لدراسة الخواصّ الفيزيائية للفلزّات المختلفة، وهي واضعة المخطط أدناه، طُلبَ إليها إعطاء تصوُّرها للمكمن، وكيف يمكن أن يكون. خاصّة وهي المتخصِّصة في دراسة الخواصّ الفيزيائية للمعادن، والفلزّات، فأجابت بالتالي:

«المكمن هو تشكيل جيولوجي ذو خواصّ غير قياسية غاية في الوضوح. مع الأخذ بعين الاعتبار أن كل مكمن يتفرَّد بشذوذاته الفيزيائية الخاصّة به لوحده على تنوِّعها، كالناقلية للكهرباء، وقابليّة المغنطة، والإشعاع، وغيرها. وإذا ما سلَّمنا بأن العمل هو الذي طوَّر الإنسان فإنَّ اختلاف الخواصّ الفيزيائية للفلزّات هو الذي سمح له بإنتاج الأدوات الأولى. فهو قد صنع السكاكين، والمقاشط، والأسنَّة الأولى من الصوَّان. في حين يتميّز العصر البرونزي بالحدادة، وتقسية الحديد. وهكذا».

هذه هي أفكار علماء الجيولوجيا، وتصوُّراتهم عن العلاقات المتبادلة بين المعادن، والخواصّ الفيزيائية المختلفة، والإنسان.

كان م. فارادي من أوائل المتأكِّدين من ناقلية الفلزّات السولفيدية (الكبريتية) الجيدة للكهرباء. ولكن مئة عام مرّت قبل أن يبدأ الجيوفيزيائيون بالاستفادة من هذه الحقيقة. تتمُّ دراسة الخواصّ الكهربائية والمغناطيسية للفلزّات والصخور بمساعدة «أجهزة قياس الخواصّ الكهرمغناطيسية». وسنتحدث عن أحد الاكتشافات الهامّة الذي سمح بإعادة دراسة الخواصّ الكهربائية للفلزّات من جديد. فقد انتبه فنِّي الصيانة في عيادة المعالجة الفيزيائية – الداخلية في أحد مشافي مدينة كراسنودار السيد س. د. كيريليان، والذي أصبح فيما بعد مخترعاً من الطراز الأول، انتبه إلى أنه أثناء تأثير التيّارات الكهربائية عالية التردُّد على أنحاء مختلفة من الجسم، يلاحظ اختلاف في الشفافية للضوء، ففي حين يبقى عضو ما من الجسم عاتماً، تُظهر بعض الأعضاء انعكاسات زرقاء سماوية، وأخرى وردية، وغيرها خضراء. وقرَّر كيريليان تسجيل هذه الإضاءات الكهربائية، ووضع لهذا الهدف فيلماً حسّاساً بين الإلكترودات وطبقة الجلد التي تتمُّ دراستها. بعد تظهير الفيلم أمكن رؤية لوحات في غاية الروعة. وصمّم كيريليان جهازاً خاصّاً دقيقاً جداً، سمح بمراقبة ورصد هذه الظواهر الفريدة. وتعود بداية هذه الأبحاث إلى عام ١٩٤٩م.



الشكل (١٦)

الحساسية للمغتاطيسية (K) للخامات الباطنية العميقة جداً ذات التشكيلات مختلفة:

i. التشكيل الغابرو -بيريدوتيتي (الأورال).

ii. التشكيل القلوي الرئيسي (شبه جزيرة كولا).

قيم K لبعض التشكيلات:

١ - يوليت K = ١٢ * ١٠ $^{-٣}$ وحدة قياسية.

٢ - كاربوناتيت K = ٣ * ١٠ $^{-٣}$ وحدة قياسية.

٣ - دونيت K = ١٠ $^{-٣}$ وحدة قياسية.

٤ - مركبات (بيروكسنت + سربنتين) K = (١٢/٣) * ١٠ $^{-٣}$ وحدة قياسية.

٥ - سربنتينيت K = (١٢/٨) * ١٠ $^{-٣}$ وحدة قياسية.

وإذا ما استخدمنا مجهراً خاصّاً برصد الشحنات الكهربائية فإننا نرى بوضوح ومضات الفرِّيت (بلورات الحديد النقي) تأخذ شكل شرارات لمعية تنتشر مشكِّلة زخرفات غريبة. وباعتبار أنه يتمُّ تصوير الشحنة الكهربائية المنتشرة في المادة المدروسة فإن الصور ستُظهِر الحالة الكهربائية للمادة المصهورة. فانتشار الشحنة سيتأثر بالطبيعة الكهربائية لسطح المادة المدروسة، هذا السطح الذي يمكن أن يكون جلداً، أو سطح ورقة نباتية، أو صخور، وفلزّات.

كان المهندس ف. ي. ميخاليڤسكي، وهو من مدينة بطرسبرغ، واحداً من مجموعة مؤلفين كانوا يتردَّدون، في أوقات مختلفة، إلى مخبر س. د. كيريليان القائم في بيته. وبعد هذا أخذوا، هم أنفسهم، بإجراء الأبحاث في هذا المجال، محاولين فك رموز هذه الصور، وتحسين تقنيات التجارب، وتطويرها.

غدا واضحاً أنَّه يمكن دراسة الطبيعة الحيَّة، والطبيعة الجامدة بنفس الأساليب، فالفلزّات والأنسجة الحيَّة تشترك في حالات كثيرة بخواصّ فيزيائية متماثلة، كالكهرمغناطيسية مثلاً. فلماذا لا نستخدم التصوير في مجال التيّارات الكهربائية عالية التردُّد لدراسة الفلزّات الصخرية؟

أمكن، بالاستعانة بأجهزة خاصّة، الحصول على صور تسمح بمراقبة جيوفيزيائية دقيقة للبنية الكهربائية للفلزّ الصخري. فبعدما تمَّ توصيل إلكترودات مولِّد ذي تردُّد عال وتغطية المادة المدروسة بإلكترود مطاطي أمكن تصوير لوحة كهربائية للفلزّ.

بغية تحسين الوسائل المساعدة في التصوير في حقل التيّارات ذات التردُّد العالي قمنا بتصوير نماذج أكثر بساطة بالمقارنة مع النماذج الحيوية. وأمكن عليها رؤية وتسجيل الخصائص الكهربائية المميّزة لهذه الأنموذجات. وتمَّ التصوير على شكل أسطوانات، لأسطحها تعاريج مختلفة، تأخذ شكل الكريات المعدنية، وأنموذجات بمواصفات كهربائية مختلفة، وبعد هذا، فقط، تمَّ الانتقال إلى تصوير الفلزّات. وأثناء هذا لوحظ أنَّ إضاءات الفلزّات تتمُّ بفضل تعاريج السطوح من جهة، ومن جهة أخرى تنشأ هذه الإضاءات نتيجة عدم التجانس في الخواصّ الكهربائية للجسم المدروس. وأثناء تصوير الأنموذجات البيولوجية الحيَّة تبقى أسباب الإضاءة هي نفسها. ومن المثير للفضول أن الرطوبة التي تؤثِّر في الناقلية النوعيّة للكهرباء للأنموذج الجافّ من الفلزّات، تؤثِّر أيضاً في شكل الصورة المأخوذة في حقل التيّارات عالية التردُّد.

لننظر إلى الشكل (١٧). فالصورة مأخوذة في حقل تيّارات عالية التردُّد. وقد ظهرت عليها مسارات هذه التيّارات عبر اللوحة الحسّاسة (الفيلم) الموضوعة على سطح الأنموذج الذي تتمُّ دراسته. أما التيّار عالي التردُّد فقد سار إلى الفيلم عبر الإلكترود المعدني المسطَّح (الأسطوانة). وبهذا تبقى على الصورة المأخوذة بدون آلة تصوير (كاميرا) آثار عبور التيّار الكهربائي الذي سيمرّ عبر نواقل الكهرباء المتوافرة. ونحصل بالنتيجة على تصوُّر صحيح لأماكن تواجد الأجزاء الناقلة للكهرباء من خلال الصورة.



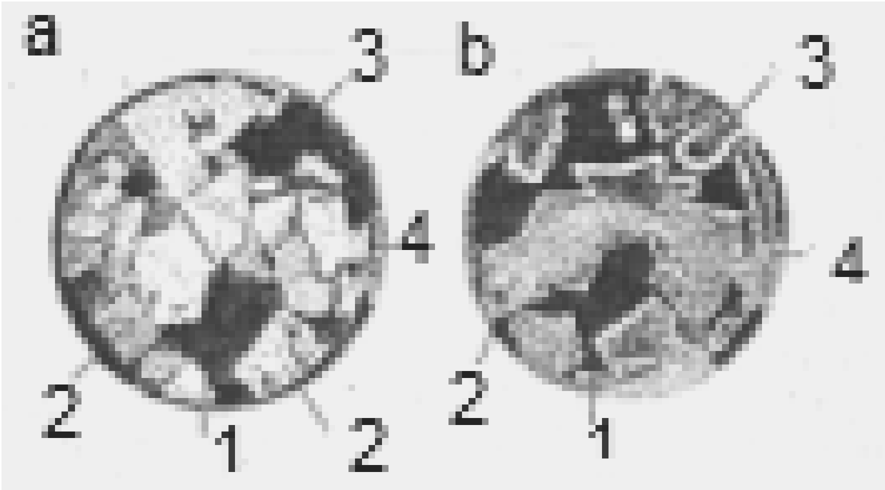
الشكل (١٧)

إنها ليست صورة فضائية لكوكب بعيد.

إنها صورة في حقل تيّارات كهربائية عالية التردُّد،

أخذت على الأرض أثناء دراسة قطعة من فلزّ يجمع بين النحاس، والنيكل.

لدى دراسة بلّورات الحجر القصديري «الكاستيريت» وُجد أنه حتى في البلّورة الواحدة تنقل بعض الأجزاء التيّار الكهربائي في حين لا تنقله الأجزاء الأخرى! إنها الطبيعة المعقَّدة لناقلية بلّورات الحجر القصديري للكهرباء. والصورة المرفقة الشكل (١٨) تعكس بنية الجزيئات الناقلة للكهرباء في الفلزّ الصخري.



الشكل (١٨)

صور سطح نموذج من فلزّ الأرسينوبيريت

أخذت بآلة تصوير (a) وفي حقل تيّارات عالية التردُّد(b).

١ - بلورات الفلسبار ٢ - بلورات الأرسينوبيريت

٣ - إشارة الربط بين الصورتين ٤ - الدائرة المحددة لمجال الصورة.

بمقارنة الصورة الضوئية (صورة الكاميرا) والصورة المأخوذة في حقل التيّارات ذات التردُّد العالي لعنصر من مرتبة السولفيدات[١] والأرسينوبيريت[٢] تظهر على الصورة الضوئية (صورة الكاميرا) حبيبات مستقلة. إن هذا العنصر يتمتَّع بناقلية نوعية للكهرباء عالية جداً. أما تحت تأثير تيّارات التردُّد العالي،

---

(١) **سولفيدات**: [من اللاتينية: كبريتات] وهي اتحاد الكبريت مع العناصر الأخرى. يكون الكثير منها على شكل فلزّات طبيعية كسولفيد التوتياء – السفاليريت ويستفاد منها باستخلاص المعدن منها أو لإنتاج حمض الكبريت.

(٢) **أرسينوبيريت**: [من اللاتينية، أرسين = زرنيخ + بيريت[*]] فلزّ سولفا أرسينيد الحديد وأحياناً مع شوائب الذهب. وهو الفلزّ الرئيس لاستخلاص الزرنيخ.

(*) **بيريت**: فلزّ ديسولفيد الحديد. لونه ذهبي أصفر غالباً ما يحوي خلائط النحاس على شكل خام الهالكوبيريت. (المترجم)

فإن كل حبيبات الأرسينوبيريت تنقل الكهرباء بنفس السويّة. وتخرج كل الحبيبات في الصورة كصفٍّ واحدٍ ذي ناقليةٍ نوعيّةٍ منخفضة.

إن تصنيع تقنيّات التجارب يستهلك جهوداً، وإمكانيات كثيرة. فمثلاً في الصورة العادية لدينا ما نسميه البعد المحرقي. أما في الصورة المأخوذة في حقل التيّارات ذات الترددُّات العالية، فيوجد نظيره. إنه البعد بين الإلكترود، وسطح الجسم المصوَّر، لكنه يقاس بالميكرومترات، وهنا يصبح عيار العدسات لتوضيح الصورة أمراً في غاية التعقيد.

من كل ما تقدم تتضح أهمية دراسة الخصائص الفيزيائية للفلزّات المختلفة. وكم بقي منها مما لا نعرفه؟ إننا في كل عام نقع على المئات من الجديد منها. ولقد اكتشف العلماء الروس، والبلغار انتظاماً طبيعياً للبلّورات المتجاورة. وقد سجّلت هذه الاكتشافات كاختراعات بأسماء أصحابها.

يمكن للفلزّ الواحد أن يكون على شكل موشور، أو هرم، أو مسلَّة، وأن يغيّر هذا الشكل أثناء تطوره. واستطاعت المكتشفة الدكتورة ن. ز. يڤزيكوڤا، بعد مراقبة دقيقة لبلّورات الحجر القصديري، إثبات العلاقة التبادلية بين شكل البلّورة، ومكان تواجدها في المكمن، في مركزه أم في أطرافه. وتكون بلّورات نمط معيّن واضحة الحدود عادة في القسم المركزي من المكمن حيث تتوافر كل ظروف التشكُّل الطبيعي. أما في الأطراف فلن تستطيع البلّورات أن تأخذ شكلاً كهذا. إن هذا المؤشر الذي حصلنا عليه من مراقبتنا للطبيعة الجامدة يتمتَّع بأهمية فائقة: إذا كانت بلّورات المكمن المكتشف ذات نمط واحد فإنه علينا متابعة التنقيب – أي إنَّنا في القسم المركزي من المكمن. إن الأمر هنا يتعلَّق بتطوُّر شكل البلورات، ولكن اكتشاف هذا النظام لم يتمَّ إلا بعد دراسة ألف (١٠٠٠) عيّنة، ونموذج من مكامن مختلفة.

إن البلّورات ذات الأشكال المختلفة قد تختلف في خواصّها الفيزيائية. فقد تبين أن البلّورات المأخوذة من مناطق مختلفة في المكمن نفسه لا تختلف في شكلها فقط، وإنما تختلف في قوتها المحركة الكهروحرارية. ويشكِّل قياس

هذه القوة للأنموذجات، والعيّنات عملاً في منتهى الروعة والإمتاع. ولقد قام علماء تشيتا بوضع طريقة المراقبة، وتصنيع تقنياتها تحت إشراف ف. ي. كراسنيكوف. وبينهم جيوفيزيائيون، ومتخصِّصون في الفيزياء الإشعاعية، وفي علوم الفلزّات، واختصاصيون في مختلف الفروع الجيولوجية.

درس هؤلاء آلاف الأنموذجات، ووضعوا أساس توزع القوة الكهروحرارية لمكامن مختلفة. وهذا ما أعطى للجيولوجيين دلائل هامّة لتقييم المكامن موضوع البحث.

وأحياناً تؤدي دراسة الخواصّ الفيزيائية لأنموذجات الفلزّات إلى اكتشاف المكمن نفسه. فقد قام أحد الجيولوجيين بدراسة النشاط الإشعاعي بوساطة جهاز قياس الإشعاع لأنموذجات من الفلزّات محفوظة في متحف جيولوجي. وأثناء ذلك وجد نموذجاً ذا نشاط إشعاعي كبير. تمَّ التأكد من مكان إحضاره، والسفر إليه، وبالتنقيب اكتشف هناك منجم ضخم لخامات اليورانيوم.

وهكذا تساعد معرفة الخواصّ الفيزيائية للخامات في اكتشاف المناجم. فإذا ما عثرتم على أيّة أنموذجات يمكنها أن تدلَّ على وجود مكامن معدنية، فعليكم إيصالها إلى أيَّة مؤسَّسة تعنى بالجيولوجيا والثروة المعدنية. فربما تمَّ عن هذا الطريق اكتشاف خامات ضرورية للصناعة. ولكن يحدث أحياناً أن تضع القطعة من الفلزّات دارسي خواصّها الفيزيائية أمام أسئلة أكثر بكثير من الأجوبة التي تعطيها. ومن الممكن مستقبلاً أن نحدد مواصفات معمَّمة للفلزّات الصخرية ترتبط مباشرة بمجموعة خواصّ فيزيائية، وتأثيرات متبادلة – تكون شكلاً من تناسق نغمات الأعماق السحيقة الكثيرة، أو اكتشاف قيم قياس للفلزّات والخامات لا تزال مجهولة حتى اليوم.

نعيد إلى الأذهان، أنه في أثناء دراسة الخواصّ الفيزيائية للفلزّات سُجِّلَت الكثير من الاكتشافات، كالظواهر المغناطيسية – أثناء دراسة الحجر المغناطيسي. والظواهر الكهربائية – أثناء دراسة الكهرمان إلخ. ولا تزال هناك بعض الفلزّات التي لم تتمَّ دراسة خواصّها الفيزيائية بشكل كامل، ناهيك عن أنه لم يتمَّ بعد اكتشاف كل أنواع الفلزّات، فهناك الجديد منها كل عام.

(١٤)

هل أنت من روّاد المتاحف والمكتبات؟



- الأرميتاج[١] والجيوفيزياء.

- أين سيقام متحف تاريخ الجيوفيزياء.

---

(١) **الأرميتاج:** واحد من أشهر متاحف العالم قاطبة، وأغناها بمقتنياته الفنية، والأعمال الأصلية لكبار الفنانين العالميين أمثال دافنشي و فان ديك و أيوردانس و رمبرانت. شُيِّد في النصف الثاني من القرن الثامن عشر، عهد ازدهار الإمبراطورية الروسية، زمن القيصرة الشهيرة كاترينا الثانية. أنجزه المعماري الإيطالي راستريللي، كقصر شتوي، لاستخدامه كمقرّ للقياصرة. ويعتبر عام ١٧٦٤م. عام تأسيس الأرميتاج، إذ بُدئ شراء اللوحات الفنية من جميع دول العالم. جاءت تسميته من كلمة ERMITAGE التي تعني المكان الذي ينفرد فيه الإنسان بنفسه، وينعزل عن الآخرين (الصومعة). في أواسط القرن التاسع عشر تحوّل هذا القصر الشتوي إلى متحف عام. (المترجم)

- مسرح العرائس وأنموذجات الجبال.

- مكتبة الجيوفيزياء.

- الرسّامون وموظفو المكتبات والمتاحف في الجيوفيزياء.

يعرف مدير متحف الأرميتاج وهو المتحف الأشهر في العالم، الأكاديمي ب. بيوتروفسكي، وهو عالم العاديات الذي طبقت شهرته آفاق العالم، الإمكانيات الفعلية للجيوفيزياء كعلم حديث الولادة. وعندما كان مديراً لقسم بطرسبرغ في معهد الآثار التابع لأكاديمية العلوم السوفييتية ذائعة الصيت كواحدة من أهمّ المؤسسات العلمية في العالم أجمع سابقاً، شارك في الأعمال الجيوفيزيائية الأولى على المستوى الاتحادي سابقاً، في محطة فيون في ضواحي سانت بطرسبرغ. وقاد أحد مؤلفي هذا الكتاب الأعمال الجيوفيزيائية الخاصّة بالآثاريين، وعلماء العاديات. ومنذ ذلك الزمن نال علم الجيوفيزياء رضا وقناعة الجميع بمن فيهم مدير الأرميتاج نفسه. وأخذ المتحف يضمّ إليه الأجهزة الجيوفيزيائية التي يستخدمها الآثاريون في أعمالهم، وتنقيباتهم.

تشكّل مفهوم الجمال لدى الإنسان تحت تأثير الطبيعة. واليوم تزداد ارتباطات الطبيعة بهذا المفهوم. وهنا تتبوَّأ البلورات الكريستالية مكانةً محترمةً يُجلِّها الجميع فضلاً عن فلزّات الصخور والمعادن ذات الألوان، والأشكال، والمقاسات، المتنوِّعة، والمدهشة في آن. ولتسهيل الاقتناع بهذا يكفي إمعان النظر في أيّة مجموعة خاصّة بذلك.

يوجد في روسيا واحد من أقدم وأكمل المتاحف الجيولوجية في العالم. وهو مكوَّن من بناء ذي ممرّات وأروقة طويلة، وصفوف من القاعات المكتظة بواجهات عرض رُتِّبت فيها خامات الصخور المختلفة الأنواع، والأشكال، والألوان على أحسن ما تكون المعروضات. هنا تمَّ تجميع أنموذجات من جميع المكامن المتميّزة للرصاص، والقصدير، والحديد، والبور، والأسبستوس (الحرير الصخري)، والكثير غيرها مع ما يجاورها من

خامات صخرية وفلزّات، لوحات الحياة القديمة، والهياكل العظمية للحيوانات الميتة. بقي أن نذكر أن صالات المتحف تعجّ دوماً بالزائرين.

لدى تأسيس المعهد المتوسط للتعدين عام ١٧٧٣م. تمَّ تخصيص قاعة «الثروات المستخرجة، والمعادن في روسيا، والعالم» للطلاب، والمدرسين، و«الزائرين الفضوليين». وقد شغلت هذه القاعة في القرن التاسع عشر مكاناً مرموقاً بين نظيراتها الأوروبيات. وقد اقتضى هذا الأمر أن تأتي المناجم، والمكامن، ومنشآت استخراج الفلزّات بأجمل أنموذجات مستخرجاتها، وأكثرها متعة، وأهمية، وفرادة إلى معرض معهد التعدين هذا. ونما هذا المعرض، وتطوَّر إلى متحف تعديني حديث. في أيامنا هذه تضمُّ قاعات المتحف المستقلة أكثر المعروضات متعةً من جيولوجية، ومعدنية، ومجموعات أحفورية أثرية، ومعروضات ذات خصوصية جيولوجية معينة، كالمعروضات البركانية، والزلزالية، والمعروضات المتعلِّقة بتشوُّه أديم الأرض. كما أن المتحف يعطي زوَّاره تصوُّراً عن نشوء المجموعة الشمسية.

بالنسبة لنا تشكِّل فلزّات المعادن بخواصّها الفيزيائية المعروفة أهمية خاصّة. ويحتوي المعرض على معروضة خاصّة عن «الخواصّ المغناطيسية لفلزّات المعادن»، وقسماً للمواد العازلة كهربائياً التي تتصف بخواصّ كوارتزية من حيث الضغط الذي تشكِّله الشحنات الكهربائية على زوايا بلّورات هذه المواد، فضلاً عن هذا هناك معروضة «ما هو الفلزّ المعدني؟»، «العمر المطلق» إلخ... وهناك بالقرب ٢٤٦ من أحجار النيازك. ومن ضمنها نيزك سيخوته - ألين وكتلته ٤٥٠ كغ. كما توجد في المتحف مجموعة من الأنموذجات النادرة مثل بلّورة كريستال البيريل التي يبلغ طولها ١,٥متراً، ومجموعة من أشكال الحرير الصخري «الاسبستوس» وقطع مصنوعة منه، ومجموعة من أنموذجات فطرية من الذهب، والبلاتين، وبلورات من الفلوريت الأزرق السماوي الشفاف تزن ٣٣٠كغ. وبلورات من الكوارتز تزن ٣٠٠كغ. ونماذج من الماس الطبيعي. وما زال الكثير من الأنموذجات المعروضة في المتحف ينتظر من يدرس

خواصّه الفيزيائية، إذ إنَّ المتحف يحتوي على ٢٠٠٠٠ عيِّنة من مختلف الفلزّات المعدنية. وفي حين زالت بعض أقسام المناجم نهائياً إلا أن مجموعة من فلزّاتها المعدنية، وخاماتها لازالت محفوظة.

عانى المتحف الجيولوجي، كالكثير من متاحف سانت بطرسبرغ الكثيرة جداً، من ويلات الحرب العالمية الثانية، وحصار لينينغراد الشهير إبان هذه الحرب. فقد سقطت في المتحف خمس قذائف. وكما في المتاحف الفنية في المدينة فقد حافظ العاملون في المتحف الجيولوجي على معروضاته رغم الحرب، والجوع، والصقيع. هذه المعروضات التي تمثَّلت في حينه بالهياكل العظمية لحيوانات منقرضة، ونماذج لمناجم الفحم، وفلزّات المعادن واللوحات الفنية النادرة. كان لا بدّ من حماية كل هذه النفائس من القصف، والتفجيرات. وقد حطَّمت شظايا القذائف إحدى بلّورات بيريل الفريدة من نوعها، وكانت موجودة في قاعة الأعمدة في المتحف. (وهي القاعة التي كان خريجو معهد التعدين يؤدّون فيها يمين الولاء للوطن، وخدمته بإخلاص وتفان). وفور إجلاء المحتل النازي عن المدينة بُدئ العمل بترميم المتحف وإعادته إلى وضعه السابق.

يعتبر البروفسور د. غريغورييف واحداً من خيرة الأدلّاء في المتحف. إذ إنَّ شروحاته، وما يقدِّمه من بيانات تكتسب أهميتها الكبيرة من تتطرّقها لـــ «حياة» الفلزّات المعدنية – «ولادتها» من المحاليل المتبلورة «حياتها»، وتحطّمها. ويعير غريغورييف اهتماماً خاصّاً لخواصّ الفلزّات المعدنية الفيزيائية، وتأثير الحقول الفيزيائية المختلفة على نموّ هذه الفلزّات.

ويعدُّ إعداد أنموذجات مصغَّرة عن عيِّنات جيولوجية مستقلِّة واحداً من مجموعة الأعمال الهامة التي تُنفَّذ في المتحف، كالأنموذج الذي أُعدَّ لكتلتي لوڤوزير وجبال خيبين في شبه جزيرة كولا في أقصى الشمال الروسي، ومكامن باجن للحرير الصخري (الأسبستوس) وغيرها. ويُهيأ لنا أنَّ كل المناجم المتخصصة التي تستنفدها صناعة الاستخراج يجب أن تبقى على شكل أنموذجات تنفيذية، كما يجب الاحتفاظ بكل الوثائق الخاصّة بهذه المناجم، وخاصّة منها ما يسجِّل مواصفاتها بما فيها معطيات دراسة الخواصّ الفيزيائية.

عند إعداد الأنموذجات التنفيذية للمناجم يتطلَّب الأمر جهوداً يبذلها عدد ليس قليلاً من المختصين، والفنانين، والرسَّامين، العارفين باللوحات، والألوان، والأشكال التي يمكن أن تكون للعيِّنات المخبَّأة في الأعماق السحيقة للأرض.

في كانون الثاني/ يناير عام ١٨٨٢م صدر الأمر التالي للجنة الجيولوجية التي أُعيد تشكيلها: «تُكلَّف اللجنة الجيولوجية، من ضمن ما تكلَّف به، بجمع عيِّنات من الصخور، والثروات الباطنية، وترتيب مجموعة منها». هكذا تمَّ وضع أساس المتحف المركزي للعلوم، وأبحاث الاستكشاف الجيولوجي الذي أطلق عليه اسم الأكاديمي ف. تشيرنيشيف. واليوم يعدُّ هذا المتحف الأضخم في العالم من حيث معروضاته، فهو يضمّ ١١٩٦١ مجموعة فيها ١٣٠٠٠٠٠ عيِّنة. منها ٨٨٠٠٠ عيّنة تعرض في واجهات خاصّة بها. وقد قام بعض من أشهر المهتمِّين بتجميع العيِّنات الطبيعية من صخور، وفلزّات معدنية بتقديم مجموعاتهم إلى المتحف. من أمثال س. نيكيتين، و أ. كاربينسكي، و ف. تشيرنيشيف.

يوجد في مدينة موسكو متحف الفلزّات، والمعادن التابع لأكاديمية العلوم. لكن، وكما هو الحال في المتحف المركزي، لا تعرض فيه العيّنات مع الدراسات المتعلّقة بالخواصّ الفيزيائية لها. وتوجد في المتحف بعض الهياكل العظمية لحيوانات منقرضة، وأنموذجات تنفيذية للطرق المحلّقة، والمتسامية داخل المناجم، وللمكامن، والمناجم، وآليات العمل فيها.

ومن الغريب حقاً أنه لا يوجد حتى الآن، ولا في أي مكان، متحف خاصّ، أو حتى قسم في متحف مخصّص للأجهزة الجيوفيزيائية. ونعتقد أنه في وقت قريب يجب أن يكون هناك، في مكان ما من العالم، متحف للتقنيات الجيوفيزيائية. وقد بُدئ منذ الآن بعرض أجهزة معيَّنة في المتاحف. كان أول جهاز لقياس الجاذبية من مجموعة س. بودوبني قد عرف في العهد السوڤييتي في متحف تاريخ لينينغراد، وتقنية استشعار الزلازل كهربائياً لـــ ن. نيشتادت عرضت في معرض إنجازات الاقتصاد لمحافظة لينينغراد. وعرضت المخترعات الجديدة من الأجهزة الجيوفيزيائية في معرض إنجازات الاقتصاد الوطني لعموم الاتحاد السوڤييتي في حينه. لكن أول جهاز لقياس المغناطيسية

من الجو في تاريخ البشرية، وكذلك أول جهاز لقياس الكمون (الطاقة الكامنة) يصنع في روسيا كانا من اختراع أ. لوغاتشيف، وهذان الجهازان يستحقّان أن يشغلا مكاناً يليق بهما في متحف دائم لتاريخ الجيوفيزياء.

يمكن أن تكون بعض الأجهزة قد فُقدت تماماً، وبلا عودة، ولكن يمكن اليوم إعادة جمع الكثير منها. وعلى كل الأحوال يجب أن يكون هناك قسم للجيوفيزياء في المتحف المركزي للاستشعار الجيولوجي وفي متحف التنقيبات وفي المتاحف الجيولوجية الأخرى. والمتاحف الجيولوجية موجودة في الكثير من المدن الروسية الكبيرة، مثل نوفوسيبيرسك[١]، وخاباروفسك، وإيركوتسك[٢].

والآن لنتوجّه إلى القراء الكرام ببعض الأسئلة المفيدة، والمتعلّقة بهذا الخصوص. هل تعلمون بأيَّة خصائص فيزيائية تتمتَّع الصخور، والخامات في المنطقة التي تعيشون فيها؟ وهل تعرض المدارس في مناطقكم أنموذجات، أو عيّنات من هذه الخامات؟ وهل سبق لكم أن زرتم المتاحف المتخصّصة في أماكن تواجدكم؟ هذا إذا ما كانت موجودة في أماكن سكنكم، أو في المناطق التي أُتيحت لكم زيارتها. وإذا ما كان الجواب بالنفي، فإننا ننصحكم القيام بذلك للتعرف على الخصائص الفيزيائية للصخور، والخامات في منطقتكم. **فأولاً** هذا ممتع جداً أن يعرف المرء ما يحيط به من خامات، وفلزّات معدنية، وأن يهتمَّ بها. **وثانياً** إن في هذه الأحجار والصخور تكمن تقريباً كل الفيزياء، والكيمياء، والجيوفيزياء الخاصّة بمنطقتكم. هنا وسطكم البيئي المحيط، ودلائل البحث، وعلاماته. وأحياناً تساعد المعرفة الجيدة بالعيّنات الموجودة في المتاحف في إيجاد تراكماتها في الظروف الطبيعية.

هل قُيِّضَ لكم أن تدخلوا مستودعاً لمسرح دمى الأطفال؟ حيث الساحرات والمشعوذات، والأقفال وكل شيء مطروح على الأرض، أو معلَّق

---

(١) مدينة في جنوب غرب سيبيريا.

(٢) مدينة في جنوب وسط سيبيريا بالقرب من بحيرة البايكال.

بلا أيَّة حركة. ويُهيَّأ للمرء أنه بحركة واحدة من عصا الساحرة في الهواء سيتحوَّل كل شيء إلى الحركة.

إن الوضع في مخبر جيوفيزيائي نموذجي يشبه السحر حقاً. فهنا، قبل كل شيء، توجد بلاد الأقزام (ليليبوتيا) ويوجد أوليڤر خاصّ بها[١].

تمثِّل ليليبوتيا مخبراً أنموذجياً، ففيها الجبال الصغيرة جداً، والمكامن، وطبقات الخامات المغناطيسية، والجبال التي تميل بزوايا ميل مختلفة، والمسايل، والوديان، وشواطئ البحار، وترسب الطمي بكميّاته الكبيرة جداً، ومكامن الرصاص، والقصدير، والنحاس، وكل عناصر ومكوِّنات العالم الجيولوجي المحيط بنا. إنما كل شيء بمقاسات صغيرة نسبياً، وعلى شكل أنموذجات تقريبية.

تدرس كل الحالات، والوضعيات، والحقائق التي يمكن أن نواجهها في الظروف الميدانية الطبيعية على النماذج المصغَّرة المعدَّة لإعطاء التقييم الأوَّلي للحالة. إن فنَّ النمذجة فنّ إبداعي عظيم. إن ضفر الأسلاك، ومؤشرات مقاييس الڤولت، وشاشة راسم الإشارة (الأسيلوغراف)، وحلقات هلمهولتز[٢] تشكِّل حقلاً كهرمغناطيسياً في جسم الأنموذج. يحركون على سطح الأنموذج الخارجي هوائيات (أنتينات) اللعب. وبدقَّة أكثر ليست هوائيات خاصّة باللعب وإنما هوائيات مصغَّرة جداً. كأن يحفروا على سطح قطعة من الغرافيت مجرى نصف أسطواني تمثيلاً لمجرى نهر قديم، أو منخفض يمكن العثور فيه على خامات الألمنيوم المسماة البوكسيت.

الأوليڤرات (جمع أوليڤر)، وهم الناس الذين يعملون في جبال ليليبوتيا، ومكامن الخامات فيها - اختصاصيون في مجال النمذجة.

---

(١) إشارة إلى رواية الكاتب الإنكليزي سويفت «رحلة أوليڤر» وفيها يورد وصفاً لبلاد خيالية تسمّى ليليبوتيا أي بلاد الأقزام. (المترجم)

(٢) **هلمهولتس** (هرمان فون) Helmholtz (١٨٢١–١٨٩٤): فيزيولوجي وفيزيائي ألماني. ولد في بوتسدام. اكتشف دور المتجانسات في الرنات الصوتية.

أ. ساڤين، و أ. كوزنتسوف هما جيوفيزيائيان من حيث التكوين العلمي. نذرا نفسيهما وحياتيهما للنمذجة. وقد استطاعا باستخدام النمذجة حل مسائل مختلفة، ومتنوِّعة كثيرة على درجة عالية من الأهمية بالنسبة للاستكشاف الكهربائي الجوي أثناء البحث عن المسايل الغنية بخام الألمنيوم المسمّى بوكسيت، وخامات المغنيتيت التي تغطيها الخامات، والصخور المسماة (تراب Trapp)[١] في إقليم كراسنويارسك، وحلاًّ مسائل أخرى في السبر الكهرمغناطيسي في ظروف الحدود غير المستوية التي تفصل بين الطبقات الجيولوجية، والكثير من المسائل الأخرى والحالات ذات الأهمية الفائقة في مجالات التطبيقات العملية للأعمال الجيوفيزيائية. إن النمذجة ترتبط بشكل وثيق بحلِّ المسائل النظرية، والحسابات على الحاسبات. حيث يمكن نمذجة أكثر الحالات تعقيداً وصعوبة بفضل الحاسبات (الكمبيوترات).

وهاكم ما قاله اختصاصي النمذجة الأشهر أ. ساڤين:

«لا بدّ لمن يريد الحصول على نمذجة جيدة من معرفة واسعة بالأعداد (السحرية). فهي تسمح بنقل كل معطيات المقطع الجيولوجي إلى الأنموذج بحيث تمكِّن دراسة الحقائق، والوقائع الفعلية التي يمكن ملاحظتها على أرض الواقع في الطبيعة. وهكذا لنمذجة مسائل الاستكشاف الكهربائي يجب أن نأخذ جداء التردُّد مضروباً بمربع الناقلية النوعيّة للكهرباء كثابت، وبزيادة التردُّد يمكن أخذ الناقلية النوعيّة للكهرباء بقيمٍ أقل.

في مدينة سانت بطرسبرغ، وفي الشارع المتوسّط بناء رقم ٧٣ توجد المكتبة الجيولوجية لعموم روسيا. وتنطلق بدايتها من لجنة الجيولوجيا أيضاً، ومن أهمّ واجباتها شراء الكتب. وهي الآن تضمّ أكثر من مليون كتاب.

---

(١) Trapp كلمة من اللغة السويدية تعني مجموعة الصخور التي لفظتها الأعماق ونفثتها إلى الأعلى كالدوليريتوالدياباز والبازلت والبورفيريت وغيرها. وهي مجموعة تتشكل نتيجة لنشاط بركاني كبير على رصيف جيولوجي كرصيف سيبيريا أو شبه جزيرة هندوستان. (المترجم)

(١٥)

إلى من يريد أن يصبح جيوفيزيائياً



- **معهد التعدين في سانت بطرسبرغ هو مهد الأجيال الأولى من المهندسين الجيوفيزيائيين.**
- **الدورة الأولى تخرَّج فيها شخصان فقط.**
- **لدى الروس أكبر عدد من الجيوفيزيائيين في العالم.**

عندما تلقى المحاضرات العلمية في مواضيع الجيوفيزياء في مراكز الثقافة الجماهيرية للعامّة من الناس غالباً ما يطرح الشباب السؤال التالي: إلى أين يجب أن يلجأ من يريد أن يصبح جيوفيزيائياً؟ الآن أصبحت الجامعات تهيِّئ الاختصاصيين في هذا الفرع من العلوم التقنية.

أولى الروس هذا العلم اهتماماً خاصّاً فافتتحوا الكليّات المتخصّصة في الجامعات الكبرى، وخاصّة تلك التي تقع بالقرب من المكامن المعدنية الهائلة في سيبيريا حيث الثروات الباطنية الضخمة. كما هو الحال في مدن موسكو، وسان بطرسبرغ، وڤارونج، وألما – آتا (العاصمة الكازاخية سابقاً)، وكييڤ (العاصمة الأوكرانية)، ومدن سيبيريا مثل تومسك، وإيركوتسك، وڤلاديڤوستوك، وسفيردلوڤسك[1]، وغيرها. وكيما يتعرَّف الطالب المقبل على الدراسة الجامعية على عالم الجيوفيزياء، وماذا ينتظره في الكلية إذا ما فكر بالانتساب إليها كان الروس يقومون بعمل رائع بهذا الخصوص، إذ إنهم كانوا يخصّصون يوماً يسمّونه «يوم الأبواب المفتوحة» في الكليّة المتخصّصة، أو المعهد العالي المتعدِّد التخصّصات (البوليتكنيك)، حيث يستطيع الطالب الدخول إلى أيّة قاعة يريد، ويطلع على كل ما من شأنه أن يعطيه فكرة واضحة عن هذا العلم، وطبيعته، ومستقبله، وطرق الدراسة، وطبيعة الأعمال المستقبلية التي تنتظر الخريج. فعلى سبيل المثال في إحدى قاعات كليّة الجيوفيزياء في المعهد العالي للتعدين في سان بطرسبرغ ترى عند الدخول رفوفاً تمتلئ بالكتب الاختصاصية، والخرائط الجيوفيزيائية المرتّبة حسب نظام معيّن. وفي كل مكان على الجدران ترى صور أوائل الأساتذة الجامعيين في الجيوفيزياء، وعلى رأسهم البروفسور الأشهر ڤ. باومان، الذي كان أول من حاضر في الاستكشاف المغناطيسي عام ١٩٢٢م. و ل. بوغوياڤلينسكي، الذي وضع عام ١٩٢٣م سلسلة محاضرات في القياس الإشعاعي كانت الأهم حتى تاريخه في روسيا. و أ. بتروڤسكي الذي كان يحاضر في الاستكشاف الكهربائي، وب. نيكيفروڤ الذي كان يحاضر في الجاذبية، والاستشعار الزلزالي.

لم يكن «مسقط رأس» الجيوفيزياء في موسكو، وسان بطرسبرغ صدفة. فهما مركزان علميان ضخمان بالمقاييس العالمية. ومن الطبيعي أن

---

(١) تسمّى حالياً إيكاترينبورغ. (المترجم)

تُعار الجيولوجيا والجيوفيزياء أكبر الاهتمام. وفيهما تتركّز بعثات جيوفيزيائية كثيرة، وجمعيات، واتحادات، ومعاهد علمية متخصّصة.

عام ١٩٢٩م شُكِّلت لجنة خاصّة بدراسة الشذوذات المغناطيسية في منطقة كورسك، وتجمَّع حول اللجنة مجموعة من الجيوفيزيائيين، والجيولوجيين، والفيزيائيين، والجيوديزيين. وهؤلاء كانوا، في واقع الحال، هم المؤسّسون الأوائل للجيوفيزياء الاستكشافية.

يرتبط تاريخ تطوّر الجيوفيزياء في روسيا، بشكل وثيق، بمؤسَّسات التعليم العالي. ويعدُّ معهد التعدين في سان بطرسبرغ أقدم مؤسسة تعليم عالٍ للجيوفيزياء على الإطلاق. ليس بالنسبة للجيوفيزياء فقط، وإنما للتعدين بعامّة.

أشرنا سابقاً، أنه بالنظر إلى سياسة التصنيع في بداية العهد السوفييتي في بداية العشرينيات من القرن الماضي كان لابدّ لتطوير الاقتصاد من إيجاد مكامن ومناجم جديدة. وكان البحث عن هذه المناجم قضيّة ملحّة، ومستعجلة، ويجب أن تجري بكلفة معقولة، وأن تكون ذات مردود اقتصادي. وهنا قدّمت الطرق الجيوفيزيائية في الاستكشاف مساعدة جُلَّى للباحثين، والجيولوجيين. ولم تكن مؤسسات التعليم العالي قد بدأت بعد بإعداد الاختصاصيين في الجيوفيزياء. وكان من تفهُّم حاجات البلاد أن أحدث علماء معهد التعدين اختصاصاً جديداً افتتحوه للطلبة الذين يرغبون بدراسة الجيوفيزياء، والتخصّص فيها.

عام ١٩٣٠م. تخرَّجت الدفعة الأولى من مهندسي التعدين الجيوفيزيائيين. وكانت هذه الدفعة عبارة عن شخصين فقط، لا ثالث لهما وهما: أ. عثمانوف، و إي. كوبزيف. وعام ١٩٣١م تخرَّج تسعة، وعام ١٩٣٥م بلغ عدد الخرِّيجين ٨٢ مهندس تعدين جيوفيزيائي. ولا تزال صور الخرِّيجين، على مرِّ السنين معروضة في متحف قسم الجيوفيزياء في المعهد. إن أعدادهم بلغت أرقاماً كبيرة، فهم الآن يشكِّلون جيشاً جرَّاراً من الجيوفيزيائيين الذين ينقِّبون عن الثروات في كل زوايا كرتنا الأرضية. عام ١٩٣٤م أنشئ قسم الطرائق الجيوفيزيائية في

الاستكشاف. ولا يزال العاملون في هذا القسم يحافظون، كما كانوا في السابق، على قدسيّة الشعار الذي رفعه معهد التعدين عند بداية تأسيسه. وقد ورد هذا الشعار في أول نظام داخلي للمعهد عام ١٧٧٣م : «نبذل الحبَّ والجهد في سبيل خدمة الوطن وتقديم المنفعة له».

أسَّس لوغانتشيف أول مدرسة في الاستكشاف المغناطيسي، ونذكر أنه هو الذي اخترع أول مقياس مغناطيسي جوي في العالم. أما المدارس المجمَّعة للجيوفيزياء والاستكشاف الكهربائي والجاذبوي فقد أسّسها ل. نيستيروف و ب. أندرييف. وتقوم هذه بتأهيل وتخريج كوادر بخبرات عالية. وقد تطورت المناهج بشكل كبير جداً. ومنذ عام ١٩٧٩م بدأ أحد مؤلفي هذا الكتاب بقراءة سلسلة محاضرات في معهد التعدين في سانت بطرسبرغ في موضوع حماية الأعماق، وبالتحديد في موضوع إنشاء حقول اختبار، ومحميّات جيوفيزيائية، وهو ما تعرضنا له في فصل سابق بعنوان «هل هناك ضرورة لحماية المناجم». ويقترح الطلاب في أطروحات ومشاريع التخرج إنشاء حقول اختبار لتجريب الأجهزة الجيوفيزيائية، ووضع طرائق العمل، ومقارنة نتائج التجارب.

أنشئت كلية الجيوفيزياء في معهد التعدين عام ١٩٥٣م. وكان عثمانوف أول عميد لها. وهو أحد أول اثنين تخرَّجا من المعهد كما كنَّا قد ذكرنا آنفاً. وأنهى أحد مؤلفي هذا الكتاب الدراسة في معهد التعدين، وهذا ما ترك أثره من خلال اختيار كلية الجيوفيزياء في المعهد، وخصَّها بالحديث المسهب، والتفصيلي في هذا الكتاب، وهذا شيء طبيعي في واقع الحال. والآن تعدَّدت المعاهد، والكليات التي تعنى بهذا الاختصاص وتدرِّسه على امتداد الساحة الروسية الهائلة.

إن علوم الجيولوجيا، والجيوفيزياء، والرياضيات، والفيزياء تشكِّل الأساس العلمي المعتمد لإعداد الجيوفيزيائيين المختصّين. لذلك نجد في مناهج التعليم العالي المخصّصة للجيوفيزيائيين مقرَّرات جيولوجية مثل

تاريخ الجيولوجيا العامّة، وعلم المعادن، وعلم الصخور، وعلم البلّورات، وعلم وضع الخرائط الجيولوجية، وجيولوجيا البلاد بعامّة، والجانب من الجيولوجيا المتعلِّق بدراسة بنية وحركة وتشوُّه وتطوُّر قسم محدَّد من القشرة الأرضية، والرداء الخارجي للأرض، وفصول خاصّة بمكامن الثروات الباطنية. إن ما يشكِّل الجيوفيزياء هو فصول جادة من الفيزياء العامّة، والرياضيات، والآلات الكهربائية، والميكانيك، والإلكترونيات، والفيزياء الرياضية، ونظريات البرمجة.

غالباً ما يسافر الطلاب صيفاً للعمل بموجب البرامج الجامعية لاكتساب خبرة عملية في مجال اختصاصاتهم المتنوِّعة. والطلاب الروس يسافرون إلى شبه جزيرة القرم أو إلى القوقاز. والكثير من الطلبة الذين يدرسون في جامعات، ومعاهد سيبيريا يسافر للعمل في مناطق جنوب كراسنويارسك في مناطق هاكاسيا[١] الواسعة، حيث القواعد العلمية الهامة من الجامعات، والمعاهد. وبالقرب من هذه القواعد توجد مناطق جيوفيزيائية بعيِّنات جيولوجية مختلفة دُرست بدقَّة، وتفصيل من قبل أجيال الطلاب الخريجين.

في أيامنا هذه دخلت الحواسيب (الكمبيوترات) كلَّ المجالات. وهي الآن موجودة لدى كلّ الفرق الميدانية، وفي المخابر. وتمَّت أتمتة كلّ التجهيزات الجيوفيزيائية. وغدت البرمجة واحدةً من أهم المقرَّرات التي يدرسها المتخصّص في الجيوفيزياء لما تؤمِّنه الرقميات من سرعة في العمل وبرامج محاكاة تفوق التصوُّر.

يوجد في المعاهد العليا المتعدِّدة الاختصاصات (البوليتكنيك)، والكليات المتخصّصة مخابر خاصّة بالنمذجة الفيزيائية للمسائل الجيوفيزيائية، ومتاحف لفلزّات المعادن، ومكتبات.

---

(١) هي محافظة ذات استقلال ذاتي تقع في جنوب وسط سيبيريا. (المترجم)

في الصفوف العليا من الدراسة حسب البرنامج الجامعي لا بدّ من تنفيذ تطبيقات عمليّة إنتاجية، حيث يدخل الطالب في ملاك العمّال، كما يقال، تقني، أو مهندس في الفرق الميدانية. ناهيك عن أنه في كل كلية يقود البروفسورات، والأساتذة أبحاثاً علمية كبيرة. وهكذا فطلاب كلية الجيوفيزياء في المعهد العالي المتعدد التقنيات (البوليتكنيك) في مدينة إيركوتسك في سيبيريا يشاركون بفعالية جيدة بالعمل في مناجم خامات الحديد في مناطق بحيرة البايكال، وطلاب معهد التعدين في كازاخستان يعملون بدورهم في مناجم التعدين في الجمهورية.

تقوم كلية الجيوفيزياء في معهد التعدين في سانت بطرسبرغ بدراسة البنية الجيولوجية لترس البلطيق بطرائق جيوفيزيائية. ومن خلال هذه الدراسة يتمُّ تجريب طريقة الأمواج المرتدّة (الصدى)، التي يعود إليها الفضل في تعيين حدود الطبقات على أعماق مختلفة. وهذه الحدود ترتبط بالانكسارات الحاصلة في باطن الأرض ويمكن بوساطتها أن يستدلَّ الجيولوجيون على الأمكنة التي عليهم البحث فيها عن كتل الخامات. أتاحت المعطيات التي تمَّ الحصول عليها من الأعماق السحيقة للعلماء انتقاء مكان تنفيذ البئر البالغة العمق في شبه جزيرة كولا في أقصى الشمال الروسي وقد سبق الحديث عن هذه البئر في فصل سابق، وهي ما وضع مسائل جديدة في وجه الجيوفيزيائيين تستوجب الحل. ومن أجل دراسة البنية البالغة العمق لشبه جزيرة كولا تستخدم طرق الاستكشاف الكهربائي، والمغناطيسي، والجاذبوي. وتجري دراسة تفصيلية معمَّقة لمنطقة بتشنغسك - اللاريتشين الغنية بخامات النيكل، وهي في نفس الوقت تمثِّل حقل اختبار رائع لمختلف طرق البحث الجيوفيزيائية المتنوِّعة. هنا تمَّ حفر البئر cr-3 الشهيرة. إن هذه البئر في حدِّ ذاتها تمثِّل بعمقها الهائل نجاحاً كبيراً للعلماء، والحفَّارين، لكن بالاعتماد على معطياتها كان من الصعب جداً تصوُّر درجة تمثيل مقطعها في القشرة الأرضية للحقيقة لولا مساعدة الجيوفيزياء. إن الأبحاث الجيوفيزيائية القائمة

تتيح نشر المعطيات التي تمَّ الحصول عليها نتيجة حفر البئر العميقة على المناطق المجاورة لها. إن مشاركة الطلاب الجامعيين في أعمال قسمهم، بدءاً من السنوات الأولى لظهور هذا القسم. هكذا، وفي كل عام يسافر للعمل في شبه جزيرة كولا نحو ٥٠ طالباً. واعتباراً من عام ١٩٨١ -١٩٨٢م يعمل الطلاب في الاستكشاف الزلزالي حتى عمق ١١–١٢كم ويعملون بنجاح تماماً كاختصاصيين مجربين. وعلى عاتق الطلاب تحديداً، وهم الاختصاصيون الجيوفيزيائيون المستقبليون، تقع مسؤولية حل الكثير من المسائل المعلقة المطروحة في كتابنا هذا. يقول أحد المسؤولين عن الكليات التعليمية في معهد التعدين:

يجب على البحوث العلمية في الأقسام الاستمرار في تطوير تقاليد شعار «كل الجهود في خدمة الوطن» السابق، وابتكار، وإكمال الطرق الجيوفيزيائية، والاستمرار في ابتكار طرق علمية بدرجة مستقبلية رفيعة لاكتشاف مكامن الثروات الباطنية، والاستمرار في تثبيت تقاليدنا، وعلاقاتنا الإنتاجية. كل هذا يجب أخذه بعين الاعتبار أثناء التعامل مع الطلبة كي لا تقتصر معرفة الخرِّيج على التقنيات فقط، وإنما عليه بشكل رئيسي أن يتمتَّع بروح وطنية عالية، والاستعداد لخدمة الوطن في أي وقت، وأي زمن.

ومن الطبيعي أن يكون الجيوفيزيائي متمتِّعاً بصحة جيدة وعلى استعداد دائم لاحتمال المكاره – فربما يسافر في بعثات إلى مناطق نائية تمتد على مجال جغرافي واسع من ممالك البرد في القارات القطبية (الأنتاركتيد) حتى أفران الصحارى. لهذا نجدهم في المعاهد العالية يولون أهمية كبيرة للحالة الجسمية للطلبة. إن التطبيقات العملية، والعلمية في مناطق مختلفة، ومتنوِّعة تسمح بتثبيت المعرفة النظرية في أذهان الطلبة. إن المهندس الجيوفيزيائي الذي يقود الأعمال في منطقة ما يجب أن يعرف جيداً جيولوجيا هذه المنطقة التي يعمل فيها، وأن يجيد استخدام التجهيزات التقنية المعقَّدة، وأن يعرف

طريقة الأعمال التي يقوم بها، وتسلسلها، وجدولتها، وطرائق فكّ رموز ما يحصل عليه من معلومات، وأن يجيد تنظيم، وإدارة مرؤوسيه في العمل، وأن يتعامل مع التقنيات المستخدمة بشكل صحيح، وأن يحلّ المسألة الجيولوجية التي هو بصددها بفاعلية، وتصميم.

إن ما هو مطلوب من المختص في الجيوفيزياء معرفته أمر متغيِّر، ومتزايد مع الأيام، وهو أمر مرتبط بالتطور الصناعي، والتقني. ففي عام ١٩٢٨م كانت هناك ٤٠ فرقة تعمل على امتداد الاتحاد السوفييتي آنذاك. وفيما بين ١٩٣٤–١٩٤١م كانت الأعمال الجيوفيزيائية تنمو بثبات، واضطراد، وتعطي النتائج الطيبة. ففي الأورال تمَّ اكتشاف ١١ منجماً للنحاس، وفي مونتشيتوندرا مناجم غنيّة بكبريتات النحاس، والنيكل. ولم يمرّ الأمر دون حدوث أشياء طريفة. في ثلاثينيات القرن الماضي وضعت طريقة الاستكشاف الكهربائي بالتحريض (وهي باكورة طريقة إجراء المقاطع الكهرمغناطيسية) بتصرف الباحثين عن الذهب. وتمَّ تحديد سلسلة من المناطق المثيرة للاهتمام. وظنّوا أنَّ هذه المناطق تحتوي على خامات الذهب. لكن التجربة أظهرت أنه فقط في عدد صغير من المناطق المؤمّلة هناك بعض آثار الذهب. وهنا اختلط الفرح بالتشاؤم، لكن النتيجة المستخلصة كانت صحيحة: لا بدّ من إتمام نظرية، وطريقة العمل. فيما بعد فهموا أن المناطق التي تمَّ تحديدها بالاستكشاف الكهربائي، وهي ذات مقاومة نوعية منخفضة، إنما يرتبط وجودها، غالباً، بوجود الانكسارات الرطبة، والحطام الرطب أيضاً – أي الخلل في كثافات الصخور، والفلزّات. وفي الحطام يمكن أحياناً العثور على مكامن للذهب.

عام ١٩٣١م ازداد عدد العاملين في المجموعات الجيوفيزيائية في الاتحاد السوفييتي، وفاق بمرَّة ونصف عدد العاملين في الدول الغربية.

سعى الأكاديمي إي. غوبكين، أول من أدار مصلحة الجيولوجيا في الصناعة النفطية – بعد تجريب الطرق الكهربائية لأبحاث الآبار في منطقة جورجيا النفطية، إلى ضرورة تطوير هذه الطرق، وإعطائها دورها الأساسي

في العمل. وأصبح غوبكين في ثلاثينيات القرن الماضي أول المبادرين إلى إنشاء لجنة الجيوفيزياء الأولى للبحوث العلمية في مجال التنقيب، واستكشاف النفط. وتشكّل اليوم مجموعة المعاهد، والبعثات التي ظهرت على هذه القاعدة اتحاد شركات كبير تحت اسم «نفط جيوفيزياء». وشارك غوبكين في إنشاء أول «مدرسة عليا» للصناعة النفطية. والآن يوجد في موسكو معهد موسكو للنفط والغاز يحمل اسم غوبكين يعدُّ الاختصاصيين في التنقيب عن النفط والغاز، والصناعات النفطية، والغازية لكل أقطار الأرض ويعمل خريجو هذا المعهد في شركات التنقيب العالمية على امتداد سطح الكرة الأرضية. وافتتحت على التوازي مدرسة الجيوفيزيائيين في معهد موسكو للاستكشاف الجيولوجي، وهي مدرسة خرَّجت مجموعة من العلماء ذوي القامات المرتفعة في عالم الجيوفيزياء على المستوى العالمي أمثال يو. ياكوبوفسكي، و م. بلوسين، وكامنيتسكي، والكثيرين غيرهم من العلماء الذين طبقت شهرتهم آفاق العالم قاطبة خاصّة بعد أن رفع الغطاء الرسمي عن أسمائهم، وبدأت السلطات التي أدارت البلاد بعد سقوط الاتحاد السوفييتي وتفكُّكه تسمح بنشر أسماء الأعلام في المجالات العلمية، وغيرها من علماء وأفذاذ ساهموا في دفع روسيا إلى مصاف الدول العظمى في فترة زمنية قياسية. وقد كانت هذه الأسماء إلى وقت قريب سرًّا من الأسرار الكثيرة للدولة التي كانت ترى نفسها مُحارَبة من قبل الجميع، ويحاول كل ذي بأس دفعها إلى التخلُّف العلمي والتقني، وسرقة المتميّزين من أبنائها بالإغراء المادي، وتحت عناوين متنوِّعة، ليس أقلُّها حقوق الإنسان، والأقليات القومية، وحرية التعبير. وقد مرَّ زمن طويل قبل أن يقتنع الجميع بأن هذه الأساليب إن هي إلا خداع، وعناوين برَّاقة تستر تحتها الغايات الحقيقية التي كان خصوم روسيا يضمرونها، وهي تجريدها من أسباب القوة، ومحاصرتها علمياً وعسكرياً وحتى إعلامياً وذلك خوفاً من المستوى العلمي الرفيع الذي بلغته خاصّة فيما يخصُّ التقنيات العسكرية المتميّزة. وقد وجدنا الاختصاصيين الروس

يبدعون في مجالات التنقيب أيضاً، والصناعات النفطية، فالشركات النفطية الروسية تتصدر الآن قائمة شركات النفط في العالم، ويحقّق الروس نجاحات هائلة، وغير مسبوقة في ذلك.

يخضع الدارسون في المؤسسات التعليمية العالية عادة لفترة تطبيقات عملية يقومون خلالها بتنفيذ أعمال ميدانية تتعلّق باختصاصاتهم العلمية، وتشكّل مرحلة تمهيدية لما ينتظرهم في حياتهم العملية مستقبلاً، وهذه التطبيقات إنتاجية. وبعد انتهاء الدراسة يذهب قسم من الخريجين في بعثات علمية استكشافية، والقسم الآخر يتمُّ فرزه إلى الجامعات والمعاهد، ومؤسسات التعليم العالي. وسوف نفصّل أعمال البعثات الاستكشافية والريادية في الفصل القادم من هذا الكتاب. وسنتحدث هنا الآن عن واحد من معاهد البحث العلمي العاملة في مجال جيوفيزياء الخامات وهو «اتحاد جيوفيزياء الخامات». أُنشئ بناؤه في القرن الماضي من الإسمنت المسلح والزجاج بعدد كبير من الطبقات. وهذا البناء ذو تاريخ خاصّ تعود بدايته إلى أربعينيات القرن الماضي، أما الجذور فتعود إلى العشرينيات من القرن نفسه. عام ١٩٤٦م. أُنشئ معهد للجيوفيزياء (PUBΓ) (معهد الأبحاث العلمية الاتحادي للاستكشاف الجيوفيزيائي). وكان هذا في الواقع إعادة بعث لمعهد جيوفيزيائي موجود منذ زمن بعيد. وإليكم تاريخه. في ذلك الزمن حينما بُدِئَ التفكير بإعداد الاختصاصيين في الجيوفيزياء، توصَّل علماء معهد التعدين إلى ما مفاده أن من الضروري جداً إنشاء مركز مستقل للطرائق العلمية المعنية بالمواضيع الجيوفيزيائية. وكان ڤ. باومن مؤسس الاستكشاف المغناطيسي هو من أعدَّ مذكرة إنشاء معهد الجيوفيزياء التطبيقية (ГПИ). ومن الممتع والمفيد إعادة قراءتها اليوم. حيث يرجو معهد التعدين، في هذه المذكرة، الإدارة الرئيسية للصناعة، والتعدين الموافقة على إنشاء معهد خاصّ للجيوفيزياء التطبيقية تابع لمعهد التعدين في بتروغراد تكون مهمَّته «المعالجة العلمية والتقنية للمواضيع المتعلّقة باستخدام الطرق الفيزيائية لدراسة مكامن الثروات الباطنية».

كان المفترض أن عمل المعهد سيتضمَّن، فيما يتضمَّنه، بعض الأعمال المخبرية، والبعثات العلمية التي يقوم بها موظفوه في قاعات الصفوف للقيام بأعمال تجريبية وتجميع العينات للدراسة. بالنسبة للتجهيزات في المعهد تمَّ في البداية اتخاذ قرار بشراء التجهيزات الخاصّة به. وذلك بتجديد الأجهزة التي كانت موجودة سابقاً في المعهد، وتصنيع أجهزة جديدة. ولم يمهل الزمن ف. باومان، فتوفي قبيل افتتاح المعهد. ورحب المجلس الشعبي المحلي في بتروغراد (وقد أصبحت تدعى لينينغراد) بافتتاح معهد للجيوفيزياء التطبيقية عام ١٩٢٣م. وكان أول معهد في الدولة حديثة الولادة للبحث العلمي المتعلّق بالعلوم الجيوفيزيائية. وبدأت الدراسات النظرية تُعدُّ في المعهد إلى جانب طرائق البحث. كما بدأ إنتاج الأجهزة. وهذه الأنشطة هي نفسها التي يقوم بها المعهد الحديث (PUBГ). وهناك أعمال مشابهة تتوافق مع هذه الأعمال تقوم بها معاهد جيوفيزيائية أخرى.

كانت أول بعثة علمية لمعهد (ГПИ) إلى مدينة كريڤوي روغ لاستكشاف مكامن خامات الحديد فيها. ثم إلى مكامن معادن وخامات متعدِّدة في مقاطعة ألتاي، وهي منطقة تقع جنوب غرب سيبيريا على الحدود مع منغوليا، والصين، وكازاخستان، وتمتدُّ إلى داخل جمهورية منغوليا. ثم إلى منطقة تواجد العصب الملحي في إيليتسك، والمكامن النفطية في مايكوب(١) وإيمبا(٢)، وكذلك مناجم المنغنيز في تشياتورا في جورجيا، إلى الشرق من كوتايسي.

إنه لمثل هذه الأعمال تنظم البعثات الاستكشافية العلمية، ويجب على من يعدّ نفسه ليصبح جيوفيزيائياً مختصّاً أن يكون مهيَّأً للقيام بمثل هذه

---

(١) **مايكوب** مدينة في محافظة أديغيي ذات الاستقلال الذاتي في إقليم كراسنودار بين البحر الأسود وبحر الآزوف.

(٢) **إيمبا** مدينة في غرب وسط كازاخستان تقع على نهر إيمبا. (المترجم)

البعثات بكل ما ينطوي عليه مثل هذا العمل من صعوبات، ومشقّات، على الرغم من أنه تستخدم الآن طرائق جديدة سهَّلت العمل، وذللت الكثير من الصعوبات. ناهيك عن أنه تقوم مجموعات، وبعثات علمية كثيرة جداً من مختلف معاهد ومراكز البحث العلمي، ومؤسسات التعليم الاختصاصي العالي بالانتشار في كل زوايا وأرجاء الأرض الروسية الواسعة، ويشارك الطلبة في بعضها. وهو ما سيتطرَّق إليه الفصل القادم من هذا الكتاب.

عام ١٩٢٧م قرأ مدير المعهد د. موشكيتوف تقريراً عن عمل المعهد في مجلس إدارة الأعمال العلمية لدى معرض الاقتصاد الوطني في الدولة. وفي القرارات التي اتخذت بناء على تقريره تمَّت الإشارة إلى نجاحات تحقَّقت في المجالات التالية:

آ - في المعالجة النظرية للمواضيع التي تدخل ضمن نطاق عمل المعهد وأبحاثه.

ب - في ابتكار وتصنيع أجهزة فائقة الحساسية، والدقَّة (في مجال مقياس الجاذبية، وعلوم الزلازل) وذلك بالوسائل المتوافرة في المعهد وكانت لهذا أهميته الكبيرة في ذلك الزمن العصيب من عمر الدولة الفتية.

وأشير لاحقاً إلى أن مجموعة من المؤسَّسات اعتمدت الطرائق التي ابتكرها المعهد، وأن على المعهد أن يقوم بأعمال ميدانية، وإنتاجية ذات طابع تجريبي اعتماداً على إمكانياته الذاتية فقط، وأن يعطي استشارات للمؤسّسات الأخرى في مواضيع ابتكاراته الجديدة. كما تمَّ الترحيب بإقامة الجلسات العملية التدريبية للطلبة في بناء المعهد ذاته. ثمَّنت الحكومة كل مجالات نشاط المعهد. إن محور العمل في المعهد كان صحيحاً لدرجة أنه حتى أيامنا هذه يقوم المديرون المتوالون على إدارة المعهد بالتأكيد على ابتكار الطرائق، وتصنيع التجهيزات الجديدة، وإقحامها في المجال الإنتاجي. كما أنهم ينظمون

التطبيقات العملية، والتدريب للطلاب في المعهد، ويقدمون الاستشارات، والنصائح للاختصاصيين في المؤسسات الإنتاجية.

إبان الحرب العالمية الثانية تصرَّف الجيوفيزيائيون في لينينغراد بوطنية صادقة. فالجميع يعرف أن موسيقا د. شوستاكوفيتش كانت تسمع في المدينة المحاصرة، وعالم الآثار ب. بتروفسكي كان يرسم الممالك، والقيصريات القديمة، ويدوِّن أوصافها. أما ما لم يكن يعرفه الكثيرون، فهو أنه في المدينة المحاصرة طبع الجيوفيزيائي أ. بيلايف على الآلة الطابعة (الهكتوغراف وهو أبسط أشكال الآلات الطابعة في ذلك الزمان) شفافيات Palette التي كانت تستخدم سابقاً كالورق الملمتري لحساب المساحات، وذلك لاستخدامها في تفسير عمليات السبر، والاستشعار الكهربائي العمودي. في عام ١٩٤١م. وبالتحديد في شهر آب /أغسطس/ انتصبت مشكلة قذائف الطائرات، التي غاصت في الرمال، ولم تنفجر، بكامل قامتها أمام جيوفيزيائيي لينينغراد. فقد استعمل الألمان قذائف بطيئة الانفجار تتراوح مدة انفجارها بين ثلاث ساعات، وبضعة أيام. وكان من الضروري تحديد مكان وجود القنبلة، وكانت المعلومات عن القذائف الساقطة تأتي من المدافعين. لكن القذائف التي كانت تسقط في الرمال كانت تغوص إلى أعماق تصل إلى عشرة أمتار، وربما أكثر، وربما عرَّجت في مسارها إلى جهة جانبية تنحرف عن فوهة الدخول مسافة قد تصل إلى خمسة أمتار. وبعد العثور على القنبلة تبقى مسألة الوصول إليها لرفعها، وإبطال مفعولها، أو تفجيرها بعيداً. كانوا يحفرون الأرض للوصول إلى القنبلة. وهذا ما كان يتطلب حجم عمل كبيراً جداً. وإذا ما تمَّ تعطيل العمل، فإن الحفرة تمتلئ عادة بكميات من الأوحال التي ترشح من الأسفل، أو الجوانب. في مثل هذه الحالة كان لا بدّ من تحديد وضع القنبلة بدقَّة عالية مثل العمل على انتشالها من الأرض. ولم تؤدِّ محاولات استخدام الطرق الجيوفيزيائية المعروفة في تلك الأيام لتحقيق هذا الهدف أيّة نتائج.

قام كل من الجيوفيزيائيين المعروفين أ. سيميونوف، و أو. ڤلاديميروڤ باقتراح طريقة للبحث عن قنابل الطائرات التي لم تنفجر، وصمموا خلال ليلة واحدة تجهيزة مركبة خاصّة بها. في اليوم التالي جرَّبوا الطريقة الجديدة في جزيرة ڤاسيلي في نهر النيڤا، واستطاعوا تحديد مكان قنبلة لم تنفجر على عمق ١٠,٥ أمتار. سمحت هذه الطريقة بمعرفة عيار (قطر) القنبلة قبل البدء بأعمال الحفر، وهذا العيار يتناسب مع وزن القنبلة البالغ ما بين ١–١,٥ طن. فيما بعد شاع استعمال هذه التجهيزة لدى المدافعين عن المدينة. إن البحث عن القنابل عمل محفوف بالمخاطر. ففي أحد أماكن البحث انصرفت مجموعة الباحثين في استراحة، وابتعدت عن المكان، وما هي إلا خمس عشرة دقيقة حتى انفجرت القنبلة. ولحسن الحظ لم تتسبب بالأذى لأيّ أحد من الموجودين.

عمل الجهاز المبتكر في ذلك الوقت، طوال فترة النضال ضد المحتل النازي. واستطاع الجيوفيزيائيون، من خلال دراستهم للحقول الكهربائية والمغناطيسية، ابتكار طرائق وتصميم تجهيزات للبحث عن السفن الغارقة، والدبابات، وغيرها من المعدات الحربية. وبالعمل مع الجيولوجيين والهيدروجيولوجيين تمَّ اختيار أقسام لإنشاء المعدات الحربية، والبحث عن الماء أيضاً. كل شيء في خدمة المعركة – كل شيء في خدمة الانتصار. كان أ. عثمانوڤ قائد إحدى مجموعات الفدائيين ضد المحتلّ الألماني وأصبح فيما بعد عميداً لكلية الجيوفيزياء. كان الجيوفيزيائيون يعملون مع مفجري الألغام، وكثيراً ما كانوا يعثرون على الغوَّاصات، ويستعينون بأجهزة قياس الزلازل لتحديد مكان البطاريات المعادية. ويعملون على أجهزة التقاط الصوت، وببساطة لقد خاضوا غمار الحرب. وسقط الكثير من الشهداء في سبيل وطنهم. ولا زالت أسماؤهم مكتوبة بأحرف ذهبية على ألواح من المرمر معلّقة على مداخل المؤسّسات الجيوفيزيائية.

جاء في مقالة افتتاحية في جريدة البراڤدا (الحقيقة) بتاريخ ١٠ أيار/ مايو / ١٩٤٢م أن الحرب المعاصرة هي حرب محركات، لأن المحرك هو بمثابة قلب الطائرة أو الدبابة، أو السيارة، أما الوقود فهو بمثابة الدم. وفي النهاية سينتصر من سيصنع المحرك الأكبر باستطاعته ويؤمن تغذية مستمرّة بالوقود. ونظمت بعثة بشكيريا[١] بهدف البحث عن النفط، والاستكشاف الجيولوجي، وذلك لتأمين الوقود للآلات المحاربة. وتكوَّنت البعثة من جيوفيزيائيين، وجيولوجيين كان من بينهم أو. شميدت، و غ. هامبورتسيڤ، و ن. شاتسكي، و ن. ستراخوڤ.

عام ١٩٤٤م. اندفعت نافورة نفطية عظيمة من البئر رقم ١٠٠ في تركيبة مولين[٢]. وشاركت مجموعة د. بوميتون، التي كانت تستكشف بالكهرباء، في دراسة جوار التركيبة. أما الآن فقد تمَّ الاحتفاظ بالبئر رقم ١٠٠ كنصب جيولوجي وجيوفيزيائي تاريخي.

كان عدد المواقع التي تمَّت دراستها وإعدادها لبدء عمليات التنقيب قبل الحرب الوطنية العظمى (١٩٣٩-١٩٤٥) م. هو ١٠٠ موقعٍ تقريباً. وخلال سنوات الحرب تمَّ تحضير ٢١٥ موقعاً. وهذا يعدُّ إنجازاً كبيراً لمهندسي النفط – الجيوفيزيائيين.

ونتج عن دراسة المواقع الواعدة الوصول إلى حقول نفط كان لإنتاجها دور مهم في عملية الدفاع عن الوطن.

فيما بين ١٩٤١ – ١٩٤٥م. حقَّق الجيولوجيون، والجيوفيزيائيون السوڤييت إنجازاً هاماً في مجال التنقيب، والدراسات الاستكشافية عن النفط،

---

(١) **بشكيريا** جمهورية ذات استقلال ذاتي ضمن الاتحاد الروسي، في جنوب الأورال. عاصمتها أوفا. (المترجم)

(٢) **إيلين ت. د.** «تشكيل المدرسة السوڤييتية للاستكشاف الجيوفيزيائي» الصادر عن دار "ناووكا" في موسكو ١٩٨٥م. (المؤلفان)

والحديد، والرصاص، والكثير من أنواع الخامات الاستراتيجية الأخرى الهامّة. وبدأ تاريخ مجيد جديد للجيوفيزياء بتقاليد راسخة، ما يعني أن «السلالة» الجيوفيزيائية قد خرجت إلى حيِّز الوجود.

يعطى لمن يجتاز بنجاح مراحل التعلُّم والتخصُّص في هذا الفرع شهادة دبلوم اختصاصي، يمكنه من الانضمام إلى تيّار المتخرجين الذين يعملون في مختلف مناطق روسيا والعالم، ما يزيد في نجاحات الجيوفيزياء، ويضيف صفحات جديدة مجيدة إلى تاريخها.

(١٦)

إلى محبي الرحلات



- **لن تصطاد سمكة من بركة دون حركة (مثل شعبي روسي).**
- **وجها العملة الواحدة.**
- **لقاءات على دروب بعيدة.**
- **يجب أن نعرف كيف ننظِّم رحلاتنا.**

توجد عبارات، وكلمات شائعة لدى مجموعات من الأفراد سأسميهم «قبيلة البدو الرحل». هذه القبيلة هي خليط من الجيولوجيين، والطبوغرافيين، والباحثين، وطبعاً الجيوفيزيائيين. من هذه التعابير «الأعمال الحقلية»، مثلاً، والعمل «في الحقل». ولا يعرف أحد كيف ظهرت هذه التعابير. لكنها لا تعني

أبداً العمل على أرض منبسطة، أو في السهوب. وإنما تطلق على كلِّ الأعمال التي تقوم بها البعثات الاستكشافية، أو المجموعات أو فرق العمل، بما فيها الصور الجيوفيزيائية في الجبال أو الغابات، أو البحار أو المحيطات.

يمكن القيام بالأعمال الحقلية هذه في أيّ وقت من أوقات السنة، إلا أن من يقومون بها غالباً ما يخرجون إليها في الربيع. وكثيراً ما يرى من يقترب من أبواب أيَّة مؤسسة جيولوجية إعلانات عن قبول الطلبة، والميكانيكيين، والسائقين، والعمال في أعمال موسمية تقوم بها هذه المؤسّسة. أما في الداخل فيكاد يسمع في كل قاعة الحديث عن الحقول، أو يرى الاستعدادات للمغادرة إليها.

- إلى أين تغادر يا سيد إيڤان؟

- إلى جزر كامتشاتكا. في بعثة للاستكشاف المغناطيسي الجوي لتدقيق الخرائط الجيولوجية.

- أما أنا فإلى منطقة شوريا الجبلية. وكما دائماً فسأعمل في جيوفيزياء المناجم والثروات الباطنية.

- ولماذا يهرول السيد سرغييف هكذا متجهِّماً؟

- إنه يغادر بعد أسبوع إلى جنوب الأطلسي. إنها رحلة ممتعة، لكن لديه خلل في المعدّات. وهذا سبب تجهُّمه.

- بلِّغه تحياتي وقل له إني جاهز للمساعدة ...

- طيب.

طبعاً ليس شرطاً أن يسافر كل جيوفيزيائي إلى العمل الحقلي، وخاصّة إذا ما كان متخصّصاً في تحليل نتائج التصوير، أو في رسم الخرائط الجيوفيزيائية، أو في تصميم الأجهزة، وصناعتها. إلا أنه حتى في مثل هذه الحالات لا يمكن تفادي السفر في مهمات علمية. يجب أخذ كل هذه الأمور بالحسبان عند اختيار الجيوفيزياء كمهنة مستقبلية.

والآن تعالوا نسمع كيف تبدو هذه الرحلات «إلى الحقول»

حسب روايات الرحالة يبدو كل شيء مغرٍ، وواعد. ولكن حديثهم المشوِّق عن الرحلات يأتي بدافع رغبة المتحدث، وسعيه الدائب لجذب انتباه المستمع، وإثارة الاهتمام لديه. أما الجانب الفعلي للرحلة فيخيل لي أنه ليس كذلك. وهذا ما لم يتحدث عنه أحد. ولهذا تأتي الأحاديث منمَّقة، وممتعة، ومصاغة بأسلوب مشوِّق يجذب انتباه السامعين، وينال إعجابهم، ولكنها ، في واقع الحال، ليست قصصاً حقيقية، وواقعية تماماً. إن رحلات الجيوفيزيائيين العلمية هذه هي قبل كل شيء عمل. وهذا العمل مضنٍ، وغالباً ما يتطلَّب جهوداً فيزيائية هائلة، وغير اعتيادية، وقوّة إرادة فائقة، وتصميم حديدي. وهذا ما يجب أن يعرفه الطالب عند انتسابه إلى مؤسسات التعليم العالي، أو المتوسّط للتخصّص في دراسة الجيوفيزياء.

لنناقش عبارة «سرت في التايغا». كيف تقع هذه العبارة على السمع؟ إننا بمجرد سماعها يقفز إلى أذهاننا المنظر التالي: أشجار يقاس عمرها بالقرون، وآثار الوحوش المفترسة، وعامل الحقل المبتسم، الذي يسير بهدوء في دروب الغابة الرائعة. لكن الحقيقة هي بخلاف ذلك. ويصف الشاعر ب. نيفيدوف إحدى رحلاته إلى التايغا في كتاب «طرق التايغا الواسعة»:

سرنا دون أن نمسح العرق عن جباهنا
وطنين البعوض يصمُّ آذاننا
ويُسمع وقع أحذيتنا الطويلة في مياه المستنقع
والشجيرات الصغيرة تعلق بسراويلنا

إن هذا أقرب إلى الحقيقة الدامغة! لكن هل عمل الجيوفيزيائيين على الطائرات، أو السفن أخفُّ وطأة وأكثر رومانسية؟ تعالوا نستعرض هذه اللوحة الواقعية من حياتهم.

وصلتَ إلى الطائرة صباحاً، ويظهر عليك أنك لم تنم بما يكفي. فقد أمضيت قسطاً كبيراً من الليلة السابقة تصلح الأجهزة، وتعدُّها للعمل. بعد الإقلاع بدأت المطبات الهوائية، أي ما يسميه الباقون على الأرض حفراً هوائية. وهذا ما سيكدرك قليلاً، وأنت جالس إلى لوحة تحكم الجهاز تراقب بانتباه ما إذا كانت أرجحة الطائرة ستؤثِّر على دقَّة القياسات التي تقوم بها. أضف إلى هذا كله أن اتِّساخاً مجهول السبب يصيب مؤشِّر جهاز تسجيل القراءات، وينبغي تنظيفه عند كل انعطاف للطائرة للدخول في مسار جديد. إنك، والحال هكذا، ستطلق السباب والشتائم التي ستطال الأجهزة، وملحقاتها، وعودتك في الغد، وبعده إلى الجلوس أمام لوحة التحكّم ذاتها، ومتابعة العمل ذاته. وفي المساء ربما سيطلب منك رئيس المجموعة أن تشارك في معالجة المعطيات التي تمَّ تسجيلها نهاراً دون إعارة الإرهاق والتعب الذي أصابكم طوال يوم عمل مجهد أيَّ اهتمام.

أما على ظهر السفن فسوف تقوم بعمل واحد روتيني، وستتعرَّض لأرجحة الأمواج للسفينة. هذا التأرجح الذي يكون شديداً، أحياناً، بحيث لا يمكن الاغتسال، ولا الحلاقة، ولا تناول الطعام. حتى إنَّ الشهية للطعام تنعدم أثناء نوٍّ كهذا. في الليل ستستند بظهرك إلى حاجز المقصورة، وبركبتيك إلى ظهرها، وإلا سترتمي إلى الأرض. ناهيك عن أنه تحيط بك الوجوه نفسها يوماً بعد يوم، وشهراً بعد شهر تباعاً. «كم مللت جاري في المقصورة المدعو بتروف، وأحاديثه المضجرة، وسعاله صباح كل يوم! وكأن هذا ما كان ينقصنا – فهو يسعل ثلاث مرات كل يوم أثناء غسيله وجهه على المغسلة، ثم يتوقَّف قليلاً، ويتابع السعال مرَّتين متتاليتين... كم أشتهي توجيه لكمة له في وجهه انتقاماً! ولو من قبيل كسر هذا الروتين اللعين»... كم أتوق إلى تحسّس الأرض الصلبة تحت قدمي! وما زال أقرب دخول لنا إلى الميناء بعيداً جداً.

أليست هذه حقيقة واقعة؟ وإليك أيضاً لوحات أخرى من الطبيعة الحيَّة.

تستيقظ صباحاً في خيمة منصوبة على شاطئ نهر سريع في التايغا. خرير مياه، وشمس ساطعة، وطيور تغرِّد، وعوم سريع في المياه الجليدية، وإحساس غامر بالسعادة، والطراوة. وقد أنهى مساعدك بيتيا (لفظ التحبب من اسم بيوتر) شيّ السمك الذي اصطدتموه بالأمس بأيديكم العارية من حفرة بقي فيها بعد فيضان مفاجئ للنهر نتيجة الأمطار الوابلة التي هطلت في الأعالي. هيّا إلى الأمام، لنسر جميعاً. فنحن سننجز اليوم المشوار المغلق السادس عشر. وهكذا تنطلقون سائرين في مياه النهر الضحلة مصدرين ضجة مسموعة. إحساس بالدفء، والحرارة... نسجِّل مكان أول نقطة مراقبة، ثم أخرى، ثم... يصبح الجهاز الخفيف ثقيلاً. إذاً لنتوقف قليلاً عند أكوام الحجارة الرائعة هذه، حيث صأصأة بنات عرس صغيرة وجدت الرحابة والآفاق الواسعة.

- ومن هذا الذي يقف هناك في المستنقع؟ يا للشيطان، يا بيتكا، إنه دبّ! إذاً لا بدّ أن هناك شيئاً موجوداً في الجوار... ربما كانت حبوب التوت المخمليّ البريّة. إن الأمر غير مستبعد. تعال نصرخ، فسيخاف، ويهرب، ونفوز نحن بالتوت فنأكله! انظر إلى الدبيب لقد هرب. إذاً هيّا بنا!

وهكذا تأكلون توت ياقوتيا المخمليّ. هذه الحبوب التي لم تكونوا تعرفون عن وجودها قبل عام من الآن. والتي ربما لا يوجد ما هو ألذُّ منها قطُّ! عناقيد سوداء من حبوب التوت المخمليّ، بطعم الأناناس، تتدلَّى على أغصان منخفضة، مكسوَّة بأوراق كأوراق عنب الثعلب تماماً...

- يكفي يا بيتيا! فلننطلق!

وفي هذا الوقت، وعلى بعد آلاف الكيلومترات عنك يستيقظ صديقك سرغيیف على سطح السفينة، وهو من كان بالأمس يشتم كل ما هو على سطح الأرض (وبخاصّة جاره في المقصورة الذي طالما أزعجه بسعاله).

وفي السماء السوداء المرشوشة بالنجوم تظهر مجموعات نجوم غريبة. وعند أفق صليب الجنوب... تنثر بعض الورود رائحتها الفواحة – إن الشاطئ الإفريقي قريب جداً. ينهض سرغييف، ويسير إلى مقدمة السفينة. يا إلهي هل سأجد الكلمات، و التعابير المناسبة لأتحدث إليهم في البيت عن هذه العجائب التي يختلط فيها العادي الطبيعي بالخرافي الأسطوري. كل المياه تشعُّ بالضياء. ولكن هناك عند مقدمة السفينة يخترق المياه لهب أزرق مائل إلى الخضرة، ينهال متلألئاً بشكل مبهر... وقناديل البحر الضخمة هذه كرات زرقاء ساطعة تسبح في البحر على امتداد سطح السفينة.

«كم هو مؤسف، - يفكر سرغييف – ألا أستطيع التقاط الصور لهذا الجمال الباذخ، والحديث عنه كما يليق به. كل شيء يضطرب ويتغيَّر بشكل متقطِّع. وهذه النار التي ترتفع من الأمواج بألوان البتولا، والسماوي، والأخضر...».

نعم! إنها الجهة الأخرى للرحلات.

لهذا كله ترى الجيوفيزيائيين يتوقون، بعد إقامة طويلة في المدينة، وخاصّة في الربيع، إلى الأسفار البعيدة فتجذبهم طرقات الأماكن المجهولة إليها. إننا نعلم جيداً أن الطريق صعبة، والعمل شاقٌّ، وإننا إذ نسافر فلسنا مسافرين في نزهة، وإنما لغاية كبيرة جداً، ولتحقيق هدف أساسي في العمل. ونعلم أيضاً أننا إذا ما كنّا نجيد إمعان النظر، وكانت قلوبنا مفتوحة للناس، والجمال فإننا سنتمكَّن من رؤية ما لن نستطيع رؤيته في المدن الكبيرة، أو المنتجعات والمصايف، أو الرحلات السياحية. أما المعاناة، والصعوبات خلال ذلك فسوف نتقبلها كما لو كانت البهار الذي يضاف إلى الطعام فيعطيه النكهة الطيبة، والرائحة الزكية.

إن الرحلات تشكِّل جانباً هامّاً جدّاً في اختصاصنا. فبدونها لا يستطيع الجيوفيزيائي اكتشاف مكامن المعادن، والثروات الباطنية، أو ابتكار طرق جديدة

لتنفيذ الأعمال الجيوفيزيائية، أو اختبار الأجهزة الجديدة، وتجريبها. لهذا كله نجد أن للجيوفيزيائيين كامل الحقّ لإنشاد الأغنية القديمة التي جاء فيها:

نحن جبنا أطراف التوندرة والصحاري

وعرَّجنا على كامتشاتكا وساخالين(١)

وعلى إلبروس(٢) والقطب الشمالي

وعموماً هذه هي حياتنا، وهذا ما نريده منها.

قُيِّضَ لكاتب هذه السطور أن يسافر كثيراً عبر الأصقاع الروسية المترامية الأطراف في مختلف الجهات، وأن يزور بلداناً أخرى. وفي العهد السوفييتي كانت الدولة ترسل خبرائها، واختصاصييها إلى الدول النامية للمساعدة في الأعمال الجيولوجية المختلفة، وترسلهم أيضاً لحضور المؤتمرات الدولية المختلفة. فماذا أعطتني هذه الأسفار كلُّها؟ لقد أعطتني، قبل كلِّ شيء، الخبرة العملية المتخصّصة، والدقيقة، بما فيها الخبرات الميدانية (الحقلية)، ناهيك عن الرضا الكبير عن الأعمال التي قمت بها، هذا فضلاً عن أنني أمتلك الآن تصوُّراً كاملاً، وصحيحاً عن العالم، ولديَّ الكثير من الذكريات الطيبة التي لا تزال حاضرة في ذهني حتى الآن. ويكفي أن يغلق المرء عينيه، ويلتفت إلى الماضي بأفكاره لتنتصب أمامه جبال البازلت السوداء في سيبيريا، تتوسّطها بحيرة تتلوَّى بمياهها الزرقاء النيلية في الأغوار العميقة كثعبان هائل. والألق القطبي بانسكاب ملوَّن كشرائط حريرية تأسر اللبَّ، وتأخذ بالأبصار في كلتا الدائرتين القطبيتين الشمالية، والجنوبية.

---

(١) **ساخالين** شبه جزيرة في أقصى الشرق الروسي على امتداد اليابان شمالاً بين بحر آخوتسك ومضيق التتار.

(٢) **إلبروس** مدينة في أقصى جنوب مقاطعة ستافروبل في محافظة كاراتشيڤا – تشيركاس ذات الحكم الذاتي قريباً من الحدود الجيورجية في القوقاز تعتبر أعلى نقطة عن سطح البحر في قارة أوروبا. (المترجم)

والتايغا، و ياقوتيا[١]، وفي مقاطعة شوريا الجبلية (وهما لا تشبهان بعضهما البعض، ويختلفان بمقدار ما تختلف أشجار الأرز عن أشجار العرعر في منطقة داوور). والتصورات التي تأخذ باللبِّ عن معابد الهند، وقصور الأمراء فيها. والغابات الكثيفة، والفيلة المستخدمة في الأعمال الحراجية، والتي تحلُّ محلّ الجرارات بكفاءة، وصبر، واحتمال. وسهوب كازاخستان المترامية الأطراف حيث تفوح رائحة الشيح فتملأ الأنوف. والتلال الرملية، والصخور الرهيبة في صحراء دشت – كيڤير الملحية المرعبة في وسط، وشمال إيران. وطوابير راكبي الدراجات العادية في ساعات ذروة الزحام على شوارع روتردام في هولندا. ومعبد القديس ڤيت بزجاج نوافذه الملوَّن الذي يبهر العيون، في العاصمة التشيكية براغ. والسوق التجاري القديم في القاهرة، وهو واحد من أهمِّ معالم العاصمة المصرية، حيث خُصِّصَ لكل بضاعة زقاق صغير تباع فيه. وكم كنت أحبُّ شرب القهوة هناك على مهل، بلا سرعة، في مقاهٍ صغيرة على الرصيف، مراقباً بهدوء الضجَّة التي يثيرها اختلاط الناس بعضهم ببعض، والهرج، والمرج الناجم عن ذلك. هذا الزحام الذي يميِّز أسواق مدن الشرق كلها.

أرى نهر لينا بجلالة قدره، واختلاط أحمال وأمتعة البعثات الاستكشافية في محطات السيارات، وعلى القوارب العادية، والصقيع، والجليد في جبال القوقاز، والنزول بطريقة (دولفير) لجلب عيِّنات من شقوق (راند كلوفت) الفظيعة[٢]. وفي منطقة ڤيلتشيك الجليدية شمال الأرض الجديدة[٣].

---

(١) **ياقوتيا** جمهورية في الشرق الأقصى الروسي ذات استقلال ذاتي.

(٢) **راند كلوفت**: نوع من الشقوق المشكلة للفراغ بين الصخور والجليد.

(٣) **الأرض الجديدة**: جزيرة تقع في أقصى الشمال باتجاه القطب بين بحر البارنتس وبحر كارسك. وڤيلتشيك إحدى الجزر القطبية المتجمدة من أرض فرانس – جوزيف إلى الشمال من الأرض الجديدة. (المترجم)

ومن ضمن ما أتذكَّره بسعادة أيضاً كيب تاون – مرفأ جمهورية جنوب إفريقيا (العنصرية حينذاك). عند رأس الرجاء الصالح. حيث كان قاربنا الكهربائي (إيلينا) الذي يعمل بالديزل يتزوَّد بالمياه. أما نحن (قطبيو القارة القطبية الجنوبية) فكنا نستقبل على ظهر القارب، الطلاب الملوّنين من جامعة كيب تاون. وكانت حينها السلطات العنصرية في البلاد ما تزال تسمح للطلاب السود بدخول الجامعات في البلاد، ونيل الشهادات الجامعية منها. وقد منعت ذلك في مرحلة لاحقة. وهذا كله كان قبل نهاية النظام العنصري في جمهورية جنوب إفريقيا. ولن أنسى ما حييت كيف انفجر طالب خلاسي (مولَّد) باكياً عندنا قائلاً أنه لأول مرة منذ ٢٥ عاماً يحسُّ، على ظهر سفينتنا، أنه إنسان حقيقي. وأن تشهد بالعين مشهداً كهذا أفضل من قراءتك أكبر مجموعة من المقالات عن نظام الفصل العنصري (الأبارتيد) البائد.

أستعرض في ذاكرتي، تماماً كشريط سينمائي ملوَّن يمرُّ أمام عيني، ذلك المساء في بانكوك. عندما كنَّا مجموعة من الجيوفيزيائيين من أقطار مختلفة نسير في الشوارع ممسكين بأيدي بعضنا بعضاً قريباً من تمثال بوذا، والمعابد البوذية الشهيرة في تايلاند، ما أثار دهشة عارمة لدى رجال البوليس الذين كانوا يسيرون بجوارنا، ونحن نغنّي الأغنية الروسية الجميلة «الأماسي في ضواحي موسكو». الكثيرون لم يكونوا يعرفون الكلمات فغنوا شيئاً ما بلغات بلدانهم عن أوطانهم، وبيوتهم، وعن موسكو الجميلة. كان هذا انفعال طبيعي لأناس بسطاء من جنسيات مختلفة، سعدوا باللقاء، وتحمَّسوا للصداقة والسلام.

استميحكم عذراً فقد استرسلت في سردي بلهجة حماسيّة. إن هذه الذكريات غالية جداً على نفسي، وأنا أعتبرها ثروتي الخاصّة، وتكريماً عظيماً لي لقاء ما بذلت من جهد.

كان أعظم ما قدَّمه تخصُّصي في الجيوفيزياء لي ليس العمل الممتع فقط، وإنما اللقاءات الكثيرة مع أناس فريدين لدرجة غير عادية، والتعرُّف إلى حياتهم وبعض شؤونهم الخاصّة.

أذكر أنني سافرت ذات مرة إلى جزيرة ديكسون(١) بالطيّارة. وهناك بعد وصولي ذهبت إلى مكتب البريد لإرسال رسائل إلى البيت. عندنا هنا، بالمناسبة، يكتفون بختم مغلَّفات الرسائل بأختام غريبة، وسيكون هواة جمع الطوابع في روسيا سعداء بامتلاك الطوابع التي ستحملها رسائلي إلى الوطن. في الشارع اقترب مني اثنان، رجل، وفتى في الخامسة عشرة، أو السادسة عشرة.

- قل لنا من فضلك، أين يمكننا إيجاد عمل هنا؟

- أنا لا أعرف. عليكم بالسؤال في مكتب البريد، ها هو هناك في تلك البناية. هل وصلتم إلى هنا للتوّ؟

- لا!لا! لقد وصلت مع ابني من ...

وسمّى قرية صغيرة تبعد عن ديكسون حوالي ٥٠٠ كم.

- وهل وصلتم على عربة تجرُّها الكلاب؟

- لا! لقد وصلنا سيراً على أقدامنا.

- لكن بالأمس فقط توقَّفت العاصفة الثلجية التي استمرَّت ثلاثة أيام!

- إن العاصفة لا ترهبنا فنحن اعتدنا على (النوم في الثلج). قالها الرجل باللغة المحليّة لتلك البلاد.

- وماذا كنتم تأكلون؟

- كيساً من (الشيش برك) (فطائر صغيرة باللحمة) التي تجمَّدت في الطريق، كما أخذنا شيئاً من حساء الكرنب، والخبز.

- وهل كان لديكم بوصلة؟

---

(١) جزيرة قريبة من شاطئ سيبيريا الشرقية على بحر كارسك عند مدخل خليج ينيسي. (المترجم)

- وما هي حاجتنا إليها. طالما أن هناك شمس، ونجوم. وبدونهما كنّا نسير متتبِّعين الآثار العشوائية[١].

- وكيف كنتم تسخِّنون الطعام؟

- بالكحول الجاف. إنه شيء جيد.

وتركاني، وسارا باتجاه مكتب البريد، بينما وقفت أنظر إليهما باحترام كبير. في ذلك الزمن كنت معتدًّاً بنفسي كعامل سابق في القطب. وتصادف أكثر من مرَّة أن قطعت الخبز المتجمد بالفأس، ودسست حساء الكرنب الملفوف بكيس الوسادة في شنطة أمتعتي. وكنت أعرف كيفية الاستهداء بالنجوم، وآثار الرياح. لكن أن أقطع مثل هذه المسافة بدون بوصلة، وسيراً على الأقدام، ومع ابني أيضاً فهذا ما لم أكن لأجرؤ عليه ولو أعطيت مال الدنيا كلها. المجد لهؤلاء الناس الأبطال الحقيقيين! أولم يخرج من بين أمثال هؤلاء الرحَّالة العظماء الذين اكتشفوا شمال أوراسيا خدمة لبلدهم روسيا؟

ومثل هذا في الشمال بالقرب من مصب نهر تايمير[٢] في شمال سيبيريا الشرقية تعرفت على مسؤول تعاونية للصيادين وهو إي. س. لوديغين، كان قد أصابه في مطلع شبابه مرض السل، و... غادر إلى الأرض الجديدة. وهناك ساهم في إبلاله من المرض هواء قطبي نظيف، وطعام صحي بسيط، وزيت القُدِّ، الذي يكون لذيذاً جداً في الأيام الأولى لإعداده، فشفي تماماً. أثناء الليالي القطبية يتوافر المقيمون للشتاء هناك على وقت فراغ كبير نسبياً. لكنه لم يضعه سدى، فقد انصرف إلى القراءة. وكانت مكتبة المشتى كبيرة. فأخذ بقراءة الفلسفة والتاريخ، والأدب. وعندما كان يسافر إلى «الأرض الكبيرة»، أي إلى بلده، كان

(١) هي آثار تتركها الرياح على سطح الثلج حيث لا يتغير الاستدلال بحسبها طالما أن حركة الرياح ثابتة.

(٢) مقاطعة ذات استقلال ذاتي في أقصى شمال إقليم كراسنيارسك في سيبيريا الشرقية. (المترجم)

يعود محملاً بصناديق الكتب. وهكذا أصبح إنساناً مثقّفاً ثقافة رفيعة، ومحدِّثاً ممتعاً لا يملُّ حديثه، ولا قصصه التي يرويها. ونزح إلى تايمير كنَّا أحياناً نخرج سويّاً إلى صيد الأيائل، فنزوِّد المشتى باللحوم (مع اقتراب الربيع تقلُّ كثيراً كمية الفيتامينات المخصّصة في الوجبات ما يجعل لحوم الأيائل عظيمة الفائدة). ما زلت أذكر حتى الآن كيف عثرنا على ناب الماموث، وأحاديث لوديغين عن طريقة زولا[(١)] في الإبداع، وعن آراء سبنسر[(٢)]، ولوك[(٣)] الفلسفية. وكيف كان يعرف جيداً طبيعة المناطق الشمالية.

في إحدى رحلاتنا للصيد رأيت على البعد إوزّاً فتساءل مقترحاً:

- ما رأيك أن نطلق النار فنصطاد لنا زوجاً منها؟

- لكنها تبعد عنا لا أقل من كيلومتر كامل، فضلاً عن أنها ستطير إلى جهة أخرى مبتعدة عنا.

- لكننا نستطيع استدراجها. اجمدوا في أماكنكم!

وهنا التفت بوجهه نحو السرب، وأخذ يلوح بيديه بهدوء. يا للغرابة! فقد طار الإوز دائراً باتجاهنا. وهنا رفع مرافقي البندقية وفي لحظة مرور الإوزّ فوقنا أطلق عليها النار فسقطت اثنتان منها على الأرض المبلّلة. إنه ببساطة كان يعرف ما لم أكن أفكّر فيه: يظهر أن الإوزّ طائر فضولي كثيراً.

- أين أنت الآن يا صديقي إيڤان س. لوديغين.

---

(١) إميل زولا Zola (١٨٤٠–١٩٠٢): مؤلف قصصي فرنسي .زعيم المدرسة الطبيعية الواقعية. تميّز بنزعة اجتماعية إشتراكية. اشتهر برواية تاريخية مسلسلة: «آل روغون ماكار».

(٢) **هربرت سبنسر** Spencer (١٨٢٠–١٩٠٣): فيلسوف وعالم اجتماعي إنكليزي. وُلد في دربي. صاحب مذهب قائم على التطور الطبيعي أي مذهب النشوء والارتقاء.

(٣) **جون لوك** Locke (١٦٣٢–١٧٠٤): فيلسوف إنكليزي. عرف بتحرره وآرائه التقدمية. قال إن الاختبار هو مصدر كل معرفة. نبذ مذهب الأفكار الفطرية. له كتاب «محاولة في الفهم البشري» . (المترجم)

وما زلت أذكر ذلك اليوم الحارّ الذي بقي في ذاكرتي بتفاصيله الصغيرة حينما كنا على بعد آلاف الكيلومترات من تايمير، يوم جاؤوني صباحاً بأول نواتج الحفر الغنية بالخامات من بئر بُدِئ بحفرها في منطقة واعدة، فمثل هذه الأيام لا يمكن نسيانها. إنني ما زلت أذكر تماماً بماذا كنت أفكر حينما كنت أجلس في سيارة أقلتني في قلب إيران، في منطقة متوسّطة بين مدينة يزد (المركز الرئيسي لعبدة النار في إيران - الزرادشتيين) والعاصمة القديمة لإيران مدينة أصفهان، حيث كان يشاد مصنع تعدين من تصميم سوفييتي.

عندما بلغ مؤشر مقياس درجة الحرارة ٦٠ ْدرجة مئوية طلبت التوقف بالقرب من كشك يقدم الشاي للمسافرين، وجلست، والسائق على الطاولة، وقدَّموا لنا كوكاكولا متجلِّدة، وشاياً بالليمون الجاف. بالقرب منا كانت تجلس مجموعة من الهيبيين، يظهر أنهم أميركيون، أو إنكليز، كانوا قذرين لدرجة لم أستطع احتمال النظر إليهم، فأدرت كرسيي بحيث لا أراهم فرأيت على الطاولة المجاورة عربيين يجلسان بالعمامة العربية المشهورة، والرداء الواسع، والأبيض كالثلج، كانا ضخمين، ووجهاهما جميلان مع شيء من الحزم والصرامة، تماماً كنسرين حطا صدفة بين البشر. هذا ما كنت أفكِّر فيه، وأنا أتفحَّص ملامحهما. وفجأة اقترب أحدهما مني، وبعد أن استأذن بالحديث سألني بالإنكليزية:

- من أين أنت أيها الغريب؟

- أنا من روسيا.

وهنا حدث ما لم يكن في الحسبان.

- «أخي – اسمح لي أن أناديك هكذا – إننا نعلم جيداً أن الروس إخوة حقيقيون للعرب. وهذا أول لقاء لي مع مواطني بلدكم العظيم. فاسمح لنا، أنا، وصاحبي علي، أن نضمَّك إلى صدرينا، وستبقى ذكرى هذا اللقاء معك نوراً في طريقنا».

ولما كنت قد تعوّدت على الطريقة الشرقية في التعبير عن المشاعر بوضوح، ودون مواربة، فإنني أجزم أن صراحته، وصدقه لا يعتورهما أدنى شك. وهكذا ضمَّ كل منا الآخر إلى صدره متبادلين القبل الحارة في حين كان صاحب «مشرب الشاي» يقف مشدوهاً... وافترقنا متجهين كلٌّ إلى هدفه في جهتي الطريق بين الكثبان الرملية، وأطلال قديمة، وخانات، وأبراج حراسة متداعية، ولاح هناك في البعيد، قريباً من الأفق، سراب معتاد في هذه الأمكنة من الصحراء راسماً نخلة طوراً، وسرب جمال طوراً آخر... كان السائق سلطان يدندن أغنية بطيئة، أما أنا فقد أعادتني المقابلة مع العربيين، والحديث معهما إلى ذكرى مقابلة أخرى إنما في مكان مختلف تماماً – في مصر، على شاطئ البحر الأحمر. فقد كنت ذات مرة هناك أمارس السباحة، والغطس بحثاً عن المرجان بعد رحلة مرهقة عبر الصحراء الشرقية. كان هناك فتيان صغار يرتدون بيجامات مخطَّطة، يرمقوننا بعيونهم الكبيرة الواسعة، جاؤوا من قرية في الجوار. ولما عرفوا من السائق أنني روسي أحاطوا جميعاً بي صارخين «ستالينغراد، ستالينغراد»، وحيوني بمودّة ظاهرة.

إذاً! وبغضِّ النظر عن كلِّ الصعوبات التي يمكن أن تعترضنا فإن رحلاتنا العلمية المتخصّصة ممتعة جداً، لكن علينا أن نحسن أداءها.

ربما يكون الكثيرون منكم قد شاركوا في رحلات سياحية. فلتذكروا أنه حتى أثناء الإعداد لرحلة صغيرة سيراً على الأقدام يجب، على الأقل، انتقاء اللباس، والحذاء، والطعام بعناية، وخبرة، ومعرفة كيفية توضيب الأشياء في حقيبة الأمتعة، ولفِّها وتغليفها بشكل صحيح، ومعرفة قواعد السير وطول المفازات، ومعرفة كيفية إشعال النار، وتحضير الطعام، وتهيئة مكان النوم. لكن «الأعمال الحقلية، أو الميدانية» ليست نزهة سياحية. فهي غالباً ما تكون في مناطق غير مأهولة، وربما بعيدة جداً عنها، وغالباً ما تنفَّذ في ظروف طبيعية معقَّدة، وتستمرُّ متواصلة، أو متقطِّعة ما بين ٣ إلى ٥ أشهر، وربما

أكثر. ومن الواضح تماماً أنه لتنفيذ هذه المهمَّات بنجاح لا يكفي الإعداد العلمي المتخصّص وحده. وكيما نتفادى التعقيدات، وحالات الفشل، ولكي يكون العمل سهلاً قدر الإمكان، ولكي يسود مناخ "نفسي" طيب جو الفريق، أو المجموعة، ويكون مزاج المشاركين بالأعمال طيباً أيضاً، ولكي يتمَّ تأمين تغذية عادية، والسهولة، واليسر في تنفيذ الأعمال الحقلية، وكيما يعود الجميع أخيراً إلى منازلهم، وأهلهم، وأحبائهم بسلامة، وطمأنينة، من أجل هذا كله ينبغي على المشاركين في تنفيذ الأعمال الحقلية أن يعرفوا الكثير. وهذا يشمل الجميع، وليس فقط رئيس المجموعة. أما في الحقل فيجب على كل فرد أن يعمل لصالح المجموعة، وعلى المجموعة أن تعمل لصالح الفرد.

هذه المعارف العلمية الخاصّة تلزمكم أنتم قبل أيِّ أحد. وبدونها لن تسير الأمور على ما يرام. ولا يتعلَّق الأمر بالحوادث المؤسفة فقط، إن انعدام الخبرة، والمران، والجهل ببعض القوانين الهامّة تجعل المرء عبئاً ثقيلاً على كاهل العاملين الآخرين ما يؤدي إلى أن يقف الجميع ضده، وهذا ما سيجعل وضعه معقَّداً، ويجعله يعاني من صعوبات جمَّة، وخوف، وقلق، وعذاب داخلي، في حين سيشعر العامل الميداني المتمرِّن، وذي الخبرة بأنه كالسمكة في مائها كما يذكر أحد الأقوال المأثورة.

إن العلم الذي يدرس تنظيم الأعمال في ميادين العمل، وأشكال التصرُّف في الطريق، وفي الحقل، ليس علماً بسيطاً. فالطالب في مؤسسات التعليم العالي، والمتوسِّط يتلقَّى بعض الخبرات، والمران أثناء ما يسمّى التدريب العملي. وأول ما يتلقَّاه هو تعليمات السلامة المهنية، إذ يجب معرفة تعليماتها، تماماً كمعرفتنا جدول الضرب. فقد وضع علماء متخصّصون، وذوو تجربة غنية، ومتنوِّعة في هذا المجال أسسها على قاعدة الدراسة المعمَّقة، والتفصيلية لحوادث كارثية حقيقية. غير أن العلم المتخصّص بالرحلات، والأسفار العلمية يجب أن يُستوعَب، ويُتقن بدرجة أكبر، وجديّة،

وصرامة. وقد كتب عن هذا الكثير من الكتب التي يجب عدم الاكتفاء بقراءتها، وإنما يجب حفظها، ومناقشة كل ما ورد فيها. إن الكتب التي كتبها الرحالة يصفون فيها رحلاتهم إلى الأقاليم المختلفة مفيدة للغاية. وقد انتشرت كثيراً، وبعدد كبير من الطبعات. فضلاً عن هذا يجب الإكثار من توجيه الأسئلة إلى ذوي الخبرة من الاختصاصيين بلا أي خجل، أو استحياء. وإذا ما كنتم تريدون معرفة أسس هذا العلم المتميّز فيجب أن تتذكَّروا جيداً ما يلي:

يجب إرسال طاقم العمل إلى الحقل، في حدِّه الأدنى من العاملين. وفي مكان العمل يتمُّ غالباً تقسيم الفريق إلى مجموعات صغيرة جداً، تعمل بعيداً عن القاعدة الرئيسية. وفي الكثير من الحالات يكون عمل مثل هذه المجموعات مرتبطاً بعضه ببعض، بين مجموعة وأخرى بشكل علاقات متبادلة. وبهذا لن تكون هناك أعمال من الدرجة الثانية، أو عمال تنفيذ، وتجهيزات احتياطية. ومن هنا يمكن الحصول على مجموعة من النتائج.

فأولاً: إن خروج إنسان واحد من فريق العمل سيعني قطع العمل، وتعطيل الموضوع بكامله. لهذا يجب انتقاء الأفراد الذين سنرسلهم إلى ميدان العمل بحيث يكونون أصحاء، ومعافين. ويجب أن يخضع الفريق المتوجِّه إلى العمل الحقلي لكشف طبِّي دقيق. ولا يجوز في أيَّة حال من الأحوال، إخفاء حالات المرض، فهذا أمر من أخطر الأمور، لأن الإسعاف الطبي في ظروف العمل الحقلي بطيء، ويتأخَّر حضوره بشكل ملحوظ.

وثانياً: يجب أن يكون الجميع مؤهَّلين تأهيلاً تقنياً جيداً فيما يخصُّ اختصاصاتهم. فهم ملزمون بتصليح الأعطال التي يمكن أن تحدث للتجهيزات التقنية التي يعملون عليها. وقد مرَّت في تاريخ الجيوفيزياء حالات تسبَّبت فيها أعطال بسيطة في الأجهزة بتوقُّف العمل لعدم وجود الخبرة الكافية لدى العاملين عليها لإصلاحها، أو تطلَّبت هذه الأجهزة مبالغ ومصاريف ضخمة للإصلاح. ومن المحبَّذ أن يستطيع العاملون في المجموعات الحقلية تبادل الأعمال فيما

بينهم، أو أن يحلَّ أحدهم محلّ الآخر، وذلك على قاعدة تعدّد المهن، وأن يكون مثل هذا العامل يجيد إنجاز الكثير من الأعمال. وعند العمل في أماكن متباعدة يجب إيلاء هذه الحالة اهتماماً خاصّاً. وقد روعي أثناء اختيار أعضاء البعثة السوفييتية الأولى إلى القارة القطبية الجنوبية ما يجيد الاختصاصيون فعله زيادة على اختصاصاتهم . فكان كل عضو في البعثة يجيد ثلاث أو أربع مهن، وربما أكثر. وهذا ما سمح بعمل الكثير بعدد قليل من الناس. وانسجاماً مع هذا قُيِّض لكاتب هذه السطور، وقد كان باحثاً علميّاً رئيساً في البعثة، أن يقوم في القارة القطبية الجنوبية بأعمال اقتضتها الحاجة، والضرورة. فعمل مدير تصوير، أثناء القيام بتصوير بعض اللقطات الأرضية المغناطيسية، والجاذبوية، والفضائية المغناطيسية. كما عمل طبوغرافياً، ومصوِّراً من الجوِّ، ومدقِّقاً للنتائج، وحمَّالاً، ونجَّاراً، وميكانيكي تركيب، ودهَّاناً، وشارك في تركيب البيوت مسبقة الصنع، وتجهيزها، وكان يصلح الأجهزة الجيوفيزيائية، ويطهو الطعام، ويسجِّل الأوضاع المناخية، والطقسية في بعض الرحلات. وقد صوَّر فيلماً صغيراً عن عمل البعثة بناءً على طلب من أحد استوديوهات لينينغراد (سان بطرسبرغ)، كما التقط بضعة آلاف من الصور الملّونة. وقد أعطي قسم منها فيما بعد إلى متحف التاريخ في لينينغراد، كما قام بأعمال كثيرة أخرى. هكذا كان يعمل الجميع. حتى الكهول من البروفسورات، الذين كانوا يصلون إلى القارة القطبية في فصل الصيف للعمل الحقلي، ويطالبون (أؤكد يطالبون) بالسماح لهم بالمشاركة بإفراغ السفن، وإشادة القرية القطبية (قرية السلام). هكذا كانوا يعملون دائماً دونما «ألقاب»، أو مراتب، مع مجموعاتهم بكامل أفرادها، فالجميع عمّال ميدانيون حقيقيون.

هناك أناس من طراز مختلف، للأسف. فقد نشرت «الصحيفة الأدبية» عرضاً لحالة شاذّة عندما رفضت مجموعة من الجيولوجيين الشباب، في البعثة المركزية لشبه جزيرة كولا، حمل الخيمة، وأكياس النوم، والمؤونة لمسافة ٥ كيلومترات (فقط ٥كم). بالرغم من ضرورة ذلك، وأهميَّته لتنفيذ

برنامج البعثة. كانوا يرون أن الحماس يجب ألا يعوِّض التنظيم السيئ. لكن عن أيِّ حماس يجري الحديث؟ طبعاً نحن نسلِّم بأن حمل الأثقال ليس واحداً من واجبات الجيولوجي، لكن طالما كان هذا مطلوباً، فالأمر صغير، ولا يجوز الوقوف عنده. فالحديث لا يدور حول الأطنان، أو مئات الكيلوغرامات. ونعتقد أن المسألة تتعلَّق بواحد من اثنين: إما أن يكون هؤلاء الجيولوجيون الشباب غير أكفاء لتحمُّل المسؤولية، وبالتالي، ليسوا مؤهّلين للأعمال الحقلية، وإما أن يكون في الأمر أسباب خاصّة. لأنه في فريق سويّ سوف يفقد هؤلاء الأفراد احترام الناس الآخرين لهم على الفور. ويمكن الافتراض أيضاً أن جوّاً من النفور النفسي كان مسيطراً على أفراد الفريق.

إن المناخ النفسي في الفرق الميدانية بعامّة، وفي كلِّ مجموعة على حدة ينطوي على أهمية فائقة، وهذا كلام يعني الجميع، وخاصّة المسؤولين عن الفرق، الذين عليهم ألا يقودوا مرؤوسيهم ببيروقراطية، وإنما عليهم الابتعاد عن هذا قدر الإمكان، كما أنَّه على قادة الجماعات، صغيرة كانت أم كبيرة، أن يعرفوا جيداً نظرية القيادة، وتوجُّهاتها العامّة والخاصّة، وهي ما خُصِّص لها الكثير جداً من الكتب والمقالات. وفي كلِّ الأحوال ينبغي على القادة أن يتصرَّفوا بوعي، وتصميم كبيرين، وإدراك ومعرفة حقيقية بنفسية وأمزجة أعضاء الفريق الذي يقودونه للوصول إلى فريق عمل منسجم ومتحابّ.

إن قيام الفريق بالعمل المنوط به، والجو العام المسيطر عليه مرتبط ارتباطاً وثيقاً بالشعور بالرضا النفسي المتبادل بين أعضاء هذا الفريق. وهذا ما كتب، ويكتب عنه بتنوّع كبير جداً، وتجري عليه الأبحاث الجادة ذات الكلفة العالية جداً. ولا عجب في هذا، فقد تمَّ التوصل إحصائياً إلى نتيجة مفادها أن ٢٠% ممن يتركون العمل في المعاهد العالية، والجامعات، ومكاتب التصميم، والإنشاء في ظروف المدن الكبيرة المزدحمة، إنما يفعلون ذلك بسبب العجز النفسي عن تحمل موضوع العمل في الجماعة، أي بروح الفريق الواحد. فماذا

يمكن أن نقول عن دور هذه العوامل النفسية في الفرق الصغيرة، والمعزولة من العاملين الميدانيين؟ ومن المفيد أن نذكر أن معطياتنا تقول إن عدم الانسجام والتوافق بين الناس، والتنافر فيما بينهم ليس خاصّية لا يمكن تحسينها، أو خاصّية ناجمة عن خلق عدواني، بيولوجياً، أو نفسياً لدى البشر، وهي لا تعكس بالضرورة خصائص خطيرة لدى الشخصية الإنسانية. وفي الكثير من الحالات تأتي الشكاوى عن عدم إمكان العمل مع هذا الإنسان، أو التعاون مع ذاك، أو مع فريق عمل بعينه من أناس لا يجيدون فهم الآخر، ولا يتسامحون مع الهنات البسيطة للعاملين معهم. إن إقامة العلاقات، والتواصل، والمقدرة على التعامل مع شخصيات، وأناس مختلفين، واحتمال كل هذا يمكن بلوغه على قاعدة التعود، وترويض النفس عليه، واعتماد الانضباط الذاتي، والسلوك الواعي. إن الاستحواذ على هذه الخصائص كلها أمر في غاية الصعوبة، ولكنها نفسها أنظمة وقوانين بسيطة.

قبل كل شيء لا يجوز لنا إلصاق الاتهامات بالناس مسبقاً، ودونما تروٍّ. فكلّ إنسان إنما هو عالم مستقلّ من المشاعر، والشهوات، والقيم، والعيوب. والكلّ يمكن أن يكون، في بعض الحالات، مكلوماً، وضعيفاً. إضافة إلى أنه ينبغي دائماً تذكر القانون التالي: علاقة الناس بك هي، بدرجة كبيرة، تعكس علاقتك بهم. كثيراً ما ننسى هذا القانون! كم من الجراح النفسية، والشكاوى من عدم قبول الآخر مرتبط بنسيان هذه المقدمة البسيطة التي يجب الانطلاق منها نحو التعامل الطبيعي مع الآخرين!

لعل من أصعب الأشياء العمل مع أناس لا مبالين، أو أنانيين، أو مع من لا يجهدون أنفسهم لتحسين أدائهم لأعمالهم. وغالباً ما تتسبَّب حماقاتهم بإثارة المشاكل، والأحداث المؤسفة. إن إعادة تربية مثل هؤلاء الناس أمر في غاية الصعوبة. بينما يكون العمل مع من يهتمُّون بمن يحيط بهم مدعاة للراحة والرضا، أو مع من يعرفون الكثير، ويجيدون الكثير من الأعمال، أو مع من

يعمل محكِّماً ضميره، ويحمل مشاعر الفكاهة، والمرح، ويطوِّر نفسه باستمرار، ويتعلَّم الأشياء الجديدة، أي إنه، بالنتيجة، يتغيَّر، ولهذا ترى الآخرين يستمتعون بالعمل معه. ببساطة هكذا يجب أن يكون كل إنسان حقيقي. وإلا فقدت الحياة متعتها.

على العموم إذا ما قررتم[١] بشكل نهائي، وحاسم أن تصبحوا اختصاصيين في الجيوفيزياء، فإنه يجب عليكم الاستعداد لذلك، والاشتغال بالتحضير المتخصّص علمياً، وإعادة ترويض النفس على العمل بروح الفريق، والجماعة. أما ما يتبقى فسوف تتكفَّل الخبرة المتخصّصة بإضافته إلى رصيدكم، في ظروف التحليل الجدي، والواضح لما تقومون به من أعمال. ولتذكروا دائماً قصّة الباحث «القطبي» العظيم ر. آموندسين، الذي هيَّأ نفسه منذ سنوات الشباب المبكِّر للرحلات الصعبة في الظروف القاسية. ولما كان في شبابه ضعيفاً ومريضاً فقد رأى أنه في البداية عليه أن يمرِّن جسمه، وبنيته الضعيفة لتصبح قادرة على تحمُّل الصعاب. فممارسة الرياضة أمر في غاية الأهمية، وخاصّة لمن هم على شاكلته مطلوبون للعمل الميداني. ومن المفيد جداً أن يتعلَّم الإنسان كيفية السير على الثلج مستخدماً الزلّاجات (الإسكي[٢])، ودراسة قوانين تسلُّق الجبال، ومن الضروري أن يجيد الإنسان السباحة، والتجديف، كما يفضل أن يكون الإنسان ذا خبرة في قيادة وإصلاح السيارات. وسيكون من الجيد جداً أن يجيد الإنسان التعامل مع آلات التصوير، والكاميرات العادية والسينمائية، وتعلُّم أصول الشيفرة في التصوير الجوّي. إنكم بإتقانكم فنّ التصوير ستستطيعون توثيق أهم الأحداث أثناء رحلاتكم بما فيها جمال الطبيعة، أو تصوير الأجهزة الجديدة، أو تعرية

---

(١) آثرنا الحفاظ على صيغة الجمع علامة الاحترام تجاه المخاطب في اللغات الأجنبية.

(٢) **الإسكي** لوح طويل من الخشب المعالج يستعان به للتزلج على الثلج بالاعتماد على عكازات خاصّة. (المترجم)

الصخور، والفلزّات لتسجيلها. وبهذا ستستطيعون بسهولة، وبلا أيَّة مشاقّ، تصوير وتظهير شريط، أو فيلم قمتم بالتقاطه بآلة تصوير من الجوّ إذا ما كان ذلك ذا أهمية بالنسبة إليكم.

وكما كل الناس ذوي المهن «الرومانسية» يتحاشى الجيوفيزيائيون المخاطر غير المحسوبة النتائج، ولا يُستفزّون ليدخلوا في مغامرات لا يعرفون إلى ما ستنتهي إليه، ويتحاشون الجرأة غير المدروسة. لأنك لن تتفادى المغامرات مجهولة النتائج دون إدخال كل هذه القضايا في حساباتك.

نعم، أيها الأصدقاء – إن الإنسان هو الآن مسيطر على الطبيعة، ولكن عليه التعامل معها بكل احترام.

إن على الجميع أن يتعلموا كيفية القيام بالرحلات وتنظيمها!!

(١٧)

الجيوفيزياء علم هام، وذو مستقبل عظيم



- **حاجة الاقتصاد إلى الثروات الباطنية.**
- **مهندس الجيوفيزياء مطلوب للعمل في كلّ الأمكنة.**
- **إن اسمك قد يظهر على خارطة جيوفيزيائية.**

إن الاستغلال الأمثل للثروات الباطنية في أيّ بلد يقتضي وضع خرائط جيولوجية لكامل مساحة البلد. وقد قام العلماء الروس في العهد السوڤييتي بوضع ما سمي في حينها الخارطة الجيولوجية الحكومية. خاصّة وأن بلادهم المترامية الأطراف بدءاً من مضيق بوهرنغ بين ألاسكا في الولايات المتحدة،

والبرِّ الروسي في أقصى الشمال الشرقي، وجزر الكوريل، وشبه جزيرة كامتشاتكا، وبحر آخوتسك، واليابان إلى الحدود الغربية التي تبدأ من فنلندا شمالاً إلى بحر البلطيق، وجمهوريات البلطيق إستونيا، ولاتفيا، وليتوانيا، وبيلاروسيا، وأوكرانيا وصولاً إلى البحر الأسود. ومن حدودها مع آسيا الوسطى حيث آذربيجان، وأرمينيا، وتركمانيا، وبحر الآزوف، وأوزبيكستان، وطاجيكستان جنوباً إلى أقصى شمال المعمورة باتجاه القطب الشمالي. إن علماء العهد السوفييتي قاموا بعمل عظيم، إذ نفَّذوا الخرائط الجيولوجية لكامل هذه المساحة الهائلة. وحسبما قال الأكاديمي أ. ف. سيدرينكو إن من أهم ما قامت به المصالح الجيولوجية الوطنية كان تأمين حاجة الوطن من الطاقة والخامات الطبيعية المستخرجة. ويعود جزء من الفضل في هذا إلى الجيوفيزيائيين. فهم عملوا بإخلاص، وتفان، وفي ظروف معقَّدة، وقدموا بعملهم هذا إضافات هامة في عملية التطوير الشامل للبلاد، والاقتصاد. فهم ابتكروا الأجهزة، وطرائق التصوير، وسلكوا بهذا دروباً غير مسلوكة من قبل، وطاروا مع مخابرهم الطائرة فوق المناطق التي لم تكن قد درست بعد. ومخروا عباب البحار على ظهور سفن مجهزة بمحطات جيوفيزيائية بحرية، واستطاعوا خلال مدة قصيرة من العمل مع الجيولوجيين تأمين قاعدة مادية شكلت أساساً لتطوير الصناعة في البلاد. كان من بينهم بعض من أوائل العلماء الذين قاسوا المقاومة الكهربائية النوعيّة لطبقات الأرض، وكثافة الفلزّات، ومغناطيسيتها، والخواصّ الإشعاعية في مناجم اليورانيوم، والكثير من الخواصّ الفيزيائية الأخرى لصخور وفلزّات مناطق البلاد المختلفة. إن إخلاصهم في عملهم، وتفانيهم به يجب أن يبقى مثالاً طيباً تحتذي به أجيال الجيوفيزيائيين.

إن الدراسة المعمَّقة للحقول الفيزيائية جعلت معرفتنا لأعماق الأرض أكثر وضوحاً، بما فيها من بنية داخلية، وتوزع للثروات الباطنية. وأثناء دراسة مجمل الأراضي السوفييتية بحدودها الواسعة تمَّ العثور على خامات،

وصخور فلزّية تنتمي إلى كل العصور الجيولوجية، وتتمتَّع بطيف واسع من الخواصّ الفيزيائية. هذه الصخور تشارك في تشكيلات جيولوجية مختلفة الأنواع. وقد قادت التنوعات الكبيرة في الظروف الجيولوجية إلى اكتشافات مذهلة، وهائلة من المكامن المتنوعة للثروات الباطنية في أعماق الأرض الروسية. ولم يكن هذا سوى محصِّلة عمل جيش كامل من الجيولوجيين، والجيوفيزيائيين قوامه نصف مليون إنسان. إن عشرات المعاهد الهندسية العالية المتخصّصة (البوليتكنيكية)، والأعداد الكبيرة من فرق العمل، والبعثات العلمية، والاتحادات الإقليمية المحليّة للإنتاج تؤدِّي أعمالاً جيولوجية، وجيوفيزيائية دائمة، وبوتيرة عالية.

يتضح مما استعرضناه حتى الآن أن الجيوفيزيائيين الروس ابتكروا طرائق مختلفة في استشعار واستكشاف مكامن الثروات الباطنية. وفي الكثير من الحالات كان لهم قصب السبق. ففي روسيا أكبر إدارة للجيوفيزياء في العالم، تغطي أعمالها ودراساتها كامل الأرض الروسية بين الحدود المذكورة أعلاه سواء من الشمال إلى الجنوب أو من الغرب إلى الشرق. ولكم أن تتخيَّلوا كيف يمكن الطيران على طائرة تحمل محطّة جيوفيزيائية جويّة، والتحليق فوق مناطق البلاد المختلفة. وسوف تسجِّل مؤشِّرات الأجهزة شذوذات الموادّ المكتشفة كعينات حقيقية يختلف بعضها عن بعض بخصائصه المغناطيسية، والكهربائية، والإشعاعية. ويمكن من خلال تحليل علمي للنتائج إيجاد مكامن جديدة، واختبار عمل الأجهزة في المكامن المعروفة قبلاً لنا. إن شبه جزيرة كولا و كاريليا غنية جداً بمكامن فلزّات النحاس، والنيكل، والفوسفور، والحديد، والميكا (البلق)، والمواد الأولية المشكلة للخزف والفخار، ومواد البناء، والطين الصفحي، والفحم النباتي، والمياه المعدنية الجوفية.

إن هدير الطائرة فوق الغابة يرعب حيواناتها، فتفرُّ هاربة في كلّ اتجاه بمجرد سماعها هذه الضجة غير المعتادة. هنا تبدأ عملية التصوير من الجو. ومن يوم إلى آخر تحطّ طائرة في هذه الأصقاع المنقطعة عن العالم، ليقوم

الجيوفيزيائيون بدراسة الشذوذات، التي سبق ذكرها، دراسة تفصيلية متخصّصة. ويأخذون من جديد صوراً جديدة من ارتفاعات مختلفة، وتحليقات تختلف باختلاف المنطقة التي يطيرون فوقها. وقد أظهر تحليل الخطوط البيانية أنه يمكن افتراض تواجد أجسام فلزّية تحت جلاميد وكتل الصخور. بعد أسبوع تحطّ طائرة سمتية (مروحية) على لسان من اليابسة يتداخل مع مجرى نهر جبلي. ويظهر أول الخارجين من الطائرة – الجيوفيزيائيون مع تجهيزاتهم الأرضية. إنهم سيعثرون على الشذوذات، وسيقومون بدراستها هنا على الأرض. وسيقومون بجمع العينات المتوافرة، والضرورية لتحديد خواصّ الفلزّات. إذا ما تمَّ تأكيد وجود أجسام فلزّية فإنهم سينقلون الشذوذات إلى الجيولوجيين. ومن يدري! لعله بعد زمن ليس بالبعيد سيظهر هنا منجم. فهناك حيث سار الجيوفيزيائيون، والجيولوجيون تنمو باضطراد المدن، والقرى، ومصانع التعدين واستخلاص المعادن الخام، والمدارس، وقصور الثقافة، ودور السينما، والأبنية السكنية.

تتميّز منطقة الأورال بميزة خاصّة بها ألا وهي التنوع الكبير في الخصائص الفيزيائية للصخور الفلزّية. أوكسيد الحديد المغناطيسي، والفحم، والنحاس، والملح الصخري، والطين الصفحي، والكثير غيرها. إن هذه المنطقة تحتوي على كل ما يلزم الإنسان من خامات. أما ألتاي فهي خزان من مناجم النحاس، والرصاص، وغيرهما من الثروات الباطنية. إن الكثير من المناطق الصناعية التي تستخدم فحم مناجم كاراغندة وبتشورا، وحديد منطقة الشذوذات المغناطيسية في كورسك، ومناجم الحديد في كوستانايسك، وأنغارا – إيليمسك، وغيرها. ما كانت لتكون لولا مشاركة فعَّالة من الجيوفيزيائيين.

وماذا عن خط الحديد الرئيس بايكال – آمور؟ لقد مر هذا الخط في مناطق متنوعة جداً من حيث البنية الجيولوجية، أما أعماق هذه المناطق

فهي غنية جداً بالخامات المعدنية. إن المناطق التي مر بها هذا الخط[1] تعيش ثورة من الإنشاء، سواء كان ذلك في المجمَّعات الإنتاجية، التي تستمدُّ صناعاتها موادَّها الأوليّة مما يستخرج من مناجم المنطقة. ففي مجمَّع جنوب ياقوتيا الإنتاجي تستخرج كميّات هائلة من فحم الكوك. وبالقرب من حوض جنوب ياقوتيا لإنتاج الفحم توجد مناجم حديد منطقتي ألدانسك الجنوبية، وتشاروتوكينسكي. ونحن نعلم جيداً أن تجاور الحديد مع الفحم يخلق ظروفاً مناسبة جداً لتطوير صناعة التعدين. يتابع الجيوفيزيائيون أعمالهم في هذه المناطق، وتسير أعمال التنقيب، والبحث عن الخامات الجديدة.

في شمال محافظة تشيتينسك يستكمل استكشاف مناجم الحجر الرملي، وتعدُّ ظروف عمل الجيولوجيين هنا، في هذه المنطقة، من أقسى ظروف العمل. لا ترى في المنطقة مناجم تذكر. إنها هناك في الأعماق تغطّيها كتل الصخور الهائلة، وهذا ما يمنع التقدّم إلى الأمام في العمل، والاستخراج. ويسير الجيوفيزيائيون في هذه الأماكن في طليعة العاملين. وقد عثروا على الحجر الرملي بطريقة الاستكشاف الكهربائي. فهو ذو مقاومة نوعية كهربائية منخفضة. وغالباً ما تستخدم هنا أجهزة لإجراء مقاطع كهرومغناطيسية ثنائية. إن المستكشفين بوساطة الجاذبية يدرسون كثافة الفلزّات في الأماكن التي تظهر فيها الشذوذات – إن الحجر الرملي المترافق مع النحاس يتمتع بكثافة عالية إذا ما قورن مع ما يجاوره من فلزّات. وهنا تستخدم أيضاً الجيوفيزياء الهندسية أثناء إشادة مجمَّعات السكك الحديدية، والأنفاق، والجسور، والمزلقانات، والنجوع. لم تتوقَّف في الشرق الروسي أبداً عمليات التنقيب عن القصدير – وهنا نؤكِّد أنه بدون الجيوفيزيائيين لا يمكن إيجاد شيء منها.

---

(١) كثيراً ما حدثنا أساتذتنا في الجامعة أيام الدراسة، وكان الخط في طور الإنشاء حينذاك، عن أن هذا الخط مرَّ بمناطق كان من أنشؤوه أول بشر يطؤون ترابها. (المترجم)

إن الكثير من النجاح مرهون بفن تعامل الجيوفيزيائي مع عملية البحث عند القيام بتحليل الخصائص الفيزيائية. يختار الجيوفيزيائي من الطرق أكثرها تصويراً للعيّنة الجيولوجية التي يدرسها، وهذا ما سيحدّد، لاحقاً، كيفية اختيار طرائق التصوير الجيوفيزيائي. فيما بعد يبدأ البحث، والتنقيب. أما إلامَ سيقود هذا البحث فهذا غير معروف حتى الآن. لكن البحث هو دائماً عمل علمي إنتاجي. وهنا تظهر حتمية مواجهة الجيوفيزيائي لحالات جيولوجية جديدة، عملياً، وفريدة، وغير متكرِّرة.

إن لكل منجم قصته الخاصّة، وأبطاله الخاصّين أيضاً، وهم مكتشفوه الأوائل، واحتياطيه، ومجالات استخدام المواد الأولية المستخرجة منه. إن جدران المتاحف الجيولوجية المحلية غالباً ما نراها تعجُّ بصور الرواد الأوائل من الجيوفيزيائيين. وتصطف أجهزة قياس المغناطيسية، والإشعاع، وأجهزة الاستكشاف الكهربائي، التي استخدمت في عمليات البحث عن المناجم في هذه المناطق بعضها إلى جانب بعض. إن البشرية الآن هي أحوج ما تكون إلى أسرار الطبيعة، وألغازها المتعلقة بالعثور على خامات متنوِّعة من حيث خصائصها المميّزة، وطبقات الصخور الفلزّية، وكيفية إيجادها فيما يُخيَّل لنا أنه فوضى، واختلاطات في أعماق الأرض. إن تحقيق هذا مرهون بالدرجة الأولى بخبرة، ورغبة الجيوفيزيائيين وحماسهم، ومبادراتهم الخلاّقة.

ويبقى الكثير من الأسرار بلا حلّ حتى بعد معالجة، ودراسة المعطيات، والملاحظات الجيوفيزيائية، باستخدام ما يقدمه عالم المعلوماتية من وسائل، وطرق تقنية حديثة. هل يوجد هنا خامات؟ وإذا ما كانت موجودة فعلى أيّة أعماق؟ وكم تبلغ كمياتها؟ يجيب الجيوفيزيائيون على هذه الأسئلة من خلال «نظرتهم» عبر الطبقات غير الشفافة للأرض. ومع تقدم الزمن تزداد أعماق البحث. ويتمُّ تسجيل إشارات ضعيفة جداً على خلفية العوائق.

إن الإشارات الضعيفة التي تنبعث من مكامن الخامات المعدنية ذات المقاومة النوعيّة الكهربائية المنخفضة يمكن لها أن تختفي وراء إشارات أكثر قوّة منها تنبعث تحت تأثير التضاريس، والتكوينات الأرضية، أو الطمي الذي يتمتَّع، أيضاً، بمقاومة كهربائية نوعيّة متدنية جداً. لهذا تبرز الأهمية الكبرى لاختيار طرائق العمل وترتيباته، كالتردُّد الأنسب، وتوزيع المولدات، والمستقبلات، والخصائص المقاسة، وذلك من أجل تحديد الإشارة المفيدة.

إن أعضاء حواسّ الحيوانات يمكن اعتبارها «أجهزة حيّة» فيما يتعلَّق باستقبال الإشارة المفيدة المرتدة عن العائق، وهي تعمل بنسبة (٣٠:١)، بينما الأجهزة التي صنعتها يد الإنسان تعمل فقط بنسبة (٣:١)، أي أقلّ بعشر مرات. ومن هنا نقول أنه ما زال علينا إنجاز الكثير من البرامج الرياضية، والتعمُّق في نظريات صناعة الأجهزة. هذه النظريات هي وحدها الكفيلة بتطوير صناعة أجهزة الجيوفيزياء في العالم.

إن أعضاء البعثات العلمية، والعاملين في المخابر سيعتبرون فاتحين، ومكتشفين أوائل للظواهر الجيوفيزيائية الجديدة، وذلك بما يقومون به من أبحاث، ودراسات للخصائص الفيزيائية للفلزّات، والخامات المختلفة، ورسم للخرائط الجيولوجية. إن الحداثة، والمعاصرة ستغدوان السمة الملازمة لتاريخ الجيوفيزياء، وستتحوَّلان بسرعة إلى نقطة انطلاق نوعيّة باتجاه المستقبل، واكتشافاته القادمة.

تحمل لوائح الشرف التذكارية في أقدم معاهد الأبحاث العلمية الجيولوجية في روسيا الاتحادية المسمّى (ИЕГЕСВ) أسماء الجيولوجيين، والجيوفيزيائيين العظماء الأوائل. فعلى اللوح المرمري الخاصّ نقشت بأحرف مذهَّبة أسماء كل من أ. أ. لوغاتشيف A.A.logashev، و ل. يا. نيستيروف l.Ya.Nesterov، إنهما يتصدَّران قوائم العاملين في معهد (ИЕГЕСВ) إلى الأبد. إننا نقول إنَّ هذا المعهد هو الأقدم، على الإطلاق، بين المعاهد العالية المتخصّصة

(البوليتكنيك). مع أنه لم يبلغ مئة العام إلا في عام ١٩٨٢م. إن أسرار الأرض إنما تشكَّلت خلال مليارات السنين، وطبعاً، لا يزال هناك الكثير من الألغاز دون حلّ. فنحن حتى الآن لم نفعل أكثر من دراسة الطبقة السطحية الرقيقة، نسبياً، من القشرة الأرضية. إن الطائرات بما تحمله من أجهزة متطوِّرة، والأقمار الصناعية، وسفن دراسة الأعماق(١) Bathys Skaphos والدراسات المعمَّقة للحقول الفيزيائية والخواصّ المميّزة للخامات والفلزّات، كل هذا سيقود إلى اكتشافات جديدة. إن المحميّات الجيولوجية والجيوفيزيائية التي يمنع فيها استغلال الثروات الطبيعية، وتقنيات عالم الإلكترونيات السريعة، والمخابر التقنية المعقَّدة، والأجهزة التي تعمل سواء على سطح الأرض، أو في الجو، أو في أعماق الآبار، والمناجم، ومراكز المراقبة الجيوفيزيائية التي تسجِّل أيَّ تغيرات، مهما كانت طفيفة، في نواميس الطبيعة الميتة. كلّ هذه التجهيزات المذكورة إنما تشكل الوسائل التي يستخدمها الموقع الجيوفيزيائي.

توجد في روسيا، كما في معظم بلدان العالم المتحضِّر، قوانين تحفظ المواقع التاريخية، والآثار، والنصب الباقية. وانسجاماً مع هذه القوانين لا بدّ لجميع المنشآت مهما صغرت أن تُدرس، مسبقاً، في ضوء عدم تأثُّر المواقع التاريخية أثناء عمليات تشييد الأبنية. وهنا تلعب الجيوفيزياء الأركيولوجية(٢)

(١) Bathys Skaphos من اللغة الإغريقية تعني سفن الأعماق وهي تجهيزة آلية لدراسة قيعان البحار والمحيطات وأعماقها وإجراء الأبحاث الخاصّة بها. (المترجم)

(٢) **الأركيولوجيا** Archaios logos من اللغة الإغريقية تعني علم العاديات (الآثار) وهو العلم الذي يدرس تاريخ الحضارة الإنسانية من جوانبها المادية العمرانية (أدوات العمل، ولوازم الاستعمال الشخصي، والسلاح، أماكن الإقامة وتجهيزاتها، والنشاط الاستيطاني، والتحصينات، والمدافن) التي غالباً ما يعثر عليها أثناء التنقيبات التي تنفَّذ بشكل رئيسي لهذا الغرض. (المترجم)

(الجيوفيزياء المتخصّصة بالأبنية الأثرية) الدور الرئيس. فهي تساعد في تعيين المواقع الجديدة للمدن القديمة كما حدث لمدينتي «أولڤيا»، و«خيرصونيسي» في أقصى الجنوب الغربي لشبه جزيرة القرم.

في المناطق التي تعتمد على الجيوفيزياء في أنشطة التنقيب، أو تشييد الأبنية الضخمة تتضاعف أهمية الحفريّات الأركيولوجية، وفاعليَّتها مرات عديدة، وتبدأ المتاحف المحلية، والإقليمية بالتفكير فيما يمكن أن ينجم عن ذلك.

وضع الروس (السوڤييت) في ثمانينيات القرن الماضي ضمن خططهم للعمل نصب أعينهم ضرورة تطوير الطرق الجيوفيزيائية، وذلك لأن أهمية الأعمال الجيوفيزيائية تنمو، وتزداد يوماً بعد يوم. فاحتياطي الموادّ الخام يتناقص، وتصبح عملية البحث عنه أكثر تعقيداً مع مرور الزمن. وستقع المكامن الجديدة للخامات على أعماق أكبر بكثير مما سبق استنفاده من مكامن. وسوف تزداد عملية الاكتشاف الأعمق للطبيعة تعقيداً كلما اتجهنا باتجاه الأعماق السحيقة للأرض. كما سيكون حجم الثروات الباطنية أقلّ بنسبة كبيرة، وبكلمات أخرى سوف لن تكون هذه الثروات متميّزة بخصائصها عن الوسط المحيط بها لدرجة كافية. إن طرائق الجيوفيزياء تزداد أهمية مع الزمن، ما يوجب استكمالها وتطويرها.

تحدَّثنا في كتابنا هذا عن الظواهر، والخصائص التي يواجهها الجيوفيزيائيون. سواء ما درس منها جيداً، أم لم يدرس دراسة كافية. ونتمنَّى لمن يريد أن يتخصّص في الجيوفيزياء، مستقبلاً، حلّ كلّ المسائل العالقة، بما فيها العثور على الخامات والنفط اللازمين للبشرية، ودراسة الآبار العميقة جداً، والتنقيب عن المواقع والنصب الأثرية، ومعرفة دقيقة لبنية الأرض. وإضافة إلى هذا كلّه نتمنَّى أن يشارك الجميع في حماية الثروات الطبيعية الأساسية، وحفظها للأجيال القادمة.

إن من يحصل على شهادة عالية، متخصّصاً في الجيوفيزياء، يستطيع العمل في أمكنة مختلفة، ومتنوّعة كاتحادات الشركات الجيولوجية الإنتاجية التي غالباً ما تعمل على كامل المساحة الوطنية، أو البعثات العلمية، أو المعاهد التقنية العالية المتخصّصة، أو المؤسّسات، أو الوزارات المختلفة، التي تقود الاقتصادات الوطنية في بلادها. مثل مجمَّعات إغناء الخامات الأحفورية، والمناجم بأنواعها، ومناجم الفحم، والإنشاءات الهندسية في أماكن انتشارها. كما يمكن لمثل هذا الاختصاصي أن يعمل في بعثة أثريّة تنقِّب عن العاديات كجيوفيزيائي. إن هذا الاختصاص مطلوب في كل مفاصل الاقتصاد الوطني.

وإذا ما حصل، وأخطأتم في اختيار هذا الاختصاص، وهذا أمر وارد، إذ إنَّ الإنسان يختار في البداية اختصاصاً ليدرسه ثم يجد رغبة كبيرة في التغيير. وهنا يمكن إجراء هذا التصحيح كما هو واضح.

إن المهندسين الجيوفيزيائيين، والعمال، والتقنيين في الفرق الجيوفيزيائية يتأكَّدون من سلامة أجهزة العمل لديهم بشكل يومي، ويقومون بالمراقبة الميدانية، ويسجِّلون تقاريرهم في المجلات الميدانية، ويقومون بتحليل معطيات المنحنيات الخاصّة، ويمضون وقتاً طويلاً منحنيين فوق الأشرطة التي تسجِّل الآلات عليها قراءاتها، وفوق شاشات رواسم الإشارات، والحواسيب، ويقيسون مختلف خصائص العيّنات المدروسة، ويقارنون نتائج المراقبة الفيزيائية مع الافتراضات الجيولوجية، معمِّقين بذلك دراستهم، ومعرفتهم للأرض يوماً بعد يوم.

إن أسماء الجيوفيزيائيين تُخلَّد تحت ألقاب، ومسمَّيات متنوِّعة. فأطلق اسم عالم الزلازل الأكاديمي يو. إن. غودين Godin على سفينة جيوفيزيائية، وهناك منطقة في القسم الجنوبي الشرقي من بحر قزوين، غنيّة بالغاز، والنفط تسمّى أيضاً منطقة غودين. وسد هامبورتسيف Gambourtsev التركيبي في

منطقة نينيتسكي[1] ونحن نعلم، مما سبق، أن هامبورتسيڤ هو من وضع نظرية مقياس الزلازل الذي سبق الحديث عنه في هذا الكتاب. وهناك في المنطقة ذاتها أقيم سدٌّ أطلق عليه اسم سوروكين Sorokin، وهو عالم سوڤييتي في مجال قياس الجاذبية الأرضية. وواحد من أوائل مستخدمي مقياس الجاذبية في عمليات البحث عن مكامن النفط. كما يوجد مكمن يحمل اسم العالم الشهير باومن Baouman في منطقة مونتشيغورسكي في محافظة مورمانسك في شبه جزيرة كولا التي سبق التعريف بها.

في مدينة سيباي، في جمهورية بشكيريا أُطلق اسم العالم الجيولوجي والجيوفيزيائي السوڤييتي س. أ. بتروباڤلوڤسكي S.A.Petropavlovski على أحد شوارعها. وهو من المكتشفين الأوائل لمناجم بيريت النحاس الشهيرة في منطقة سيباي. وفي قرية كڤاليريڤو في منطقة بريمورسكي (ما بين الصين غرباً، وبحر اليابان شرقاً) يوجد زقاق الجيوفيزيائيين، حيث يعيش الجيوفيزيائيون الذين يعملون في البعثة الجيوفيزيائية هناك. وهناك الكثير جداً من هذه الشوارع، والقرى، والمجمَّعات السكنية حيث يعيش الناس الطيبون القائمون على خدمة أوطانهم، وسوف يكون من حسن الحظ القيام بزيارة إلى تلك المناطق النائية.

إن جهود الجيوفيزيائيين تلقى التقدير والاحترام اللائقين. فقد منحت لهم لقاء النجاح، والتفاني في العمل، والمشاركة في اكتشاف المناجم المختلفة، الجوائز الحكومية القيِّمة، والأوسمة، والنياشين، والميداليّات، وألقاب الشرف مثل «عالم حاصل على لقب الجدارة»، وغيره. وقد منحت عام ١٩٨٢م الجائزة الحكومية في مجال التقنيات لكل من ڤ. خ. أخياروڤ V.Kh. Akhyarov، و أو. م. نيليبتشينكو O.M. Nelepshenko و أو. ل. كوزنتسوڤ O.L. Kouznetsov و ل. غ.

---

(١) Ninetski منطقة ذات حكم ذاتي في أقصى الشمال الروسي، على بحر البارنتس. (المترجم)

بطرسيان I.G. Petrosyan و د.ف. بيسبالوف D.F. Bespalov ويو. س. شيميليفتش Y.S. Shimelevish و ل. ن. ڤورونكوف I.N. Voronkov و ڤ. يو زايتشينكو V.Y. Zaishenko و إي. ڤ. كاروس E.V.Karous و د. أ. كريلوف D. A. Krilov و ب. خ. مسلموف R.K. Mouslimov و س. أ. سلطانوف S.A.Soultanov . وذلك لقاء ابتكار، واستثمار الطرق المتقدِّمة في تقديم، واستغلال المعلوماتية عالية المستوى في مجال الكاروتاج الصوتي والنيتروني من أجل تحسين درجة البحث، والاستكشاف والاستثمار في مكامن النفط، والغاز.

وهكذا سيصبح تلاميذ، وطلبة المدارس، والجامعات هم جيوفيزيائيي القرن الواحد والعشرين. وسيكون عملهم هامّاً، ولازماً في كلّ البلاد، وعبر كلّ الأزمان. وعليهم أن يتذكَّروا، دائماً، أنهم سيعملون ضمن الفريق يداً بيد مع ممثلي الاختصاصات الأخرى. كما أن عليهم أن يطمحوا، وأن يهتمُّوا بالقضايا الكبيرة. إن جهدهم هذا مشرِّف جداً، ولكنه صعب، ومعقَّد. والطريق إلى استيعاب، وإتقان الاختصاص ليصبح الإنسان جيوفيزيائياً مرموقاً هي طريق واحدة تمرُّ عبر المعرفة، والعمل. وهكذا ستصبح دراسة فيزياء الأرض مهمَّة متروكة للجيل القادم، وليس هذا فقط، وإنما يضاف إليه اكتشاف مكامن جديدة للثروات الباطنية، والحفاظ على التوازن البيئي، وهو أمرٌ فائق الأهمية بالنسبة إلينا جميعاً.

تفسير المصطلحات العلمية

- **الشذوذات:** انحراف المجال (الحقل) الجيوفيزيائي عن القيم الطبيعية.
- **الحفر:** عملية تنفيذ الحفريات على شكل أسطواني، غالباً ما تترافق مع أبحاث جيوفيزيائية تنفَّذ بالاستعانة بأجهزة خاصّة، (الكاروتاج، وجيوفيزياء الآبار العميقة).
- **الخامات المختلطة:** خامات تضمّ طبقات، أو عروق، أو تشكيلات أخرى من الفلزّات تختلط مع الثروات الباطنية.
- **العيّنات المتمرِّدة:** العيّنات (مواضيع الدراسة) المشكِّلة للانحراف في المجالات (الحقول) الجيوفيزيائية.
- **جهاز تحليل الطيف غاما:** جهاز لدراسة الإشعاع في الخامات والفلزّات، وتحديد محتواها من اليورانيوم، والثوريوم، والبوتاسيوم.
- **التخريط الجيولوجي:** طريقة تنفيذ الخرائط الجيولوجية.
- **القطاع الجيولوجي:** تمثيل البنية الجيولوجية للقسم الذي تجري دراسته من القشرة الأرضية في المستوي العمودي (الرأسي أو الجبهي) مع إظهار التركيب الجيولوجي، والعمر، والخصائص الفيزيائية لكلّ الخامات في الموضع المدروس.
- **الطرق الجيوفيزيائية في دراسة الآبار العميقة:** انظر الكاروتاج، و«جيوفيزياء الآبار العميقة».
- **الخامات الصخرية:** تشكيلات طبيعية تشكِّل بمجموعها القشرة الأرضية، وتتألَّف من أجسام بسيطة تسمّى الفلزّات كالكوارتز، والفلسبار، والبلق (الميكا)، وهي مجتمعة تشكِّل الغرانيت. وهناك فلزّات أحادية (مكونة من فلزّ واحد) كالمرمر.

- **مقياس الجاذبية:** جهاز لقياس تسارع السقوط الحرّ.
- **الاستكشاف الجاذبوي:** طريقة جيوفيزيائية في الاستكشاف، تقوم على دراسة حقل الجاذبية الأرضية (قوّة الجاذبية) الذي يتسبَّب الاختلاف في كثافة خاماته، وفلزّاته بشذوذات متغيِّرة حسب الخام المسبِّب لها.
- **الطفح** **Intrusus** من اللاتينية: كميّات من الصهارة أو الفِطَحْل (الماغما) الموجودة في الأعماق السحيقة للأرض، وتحديداً في الرداء، أو الوشاح، وهو الطبقة الموجودة تحت القشرة الأرضية مباشرة، تندفع إلى جيوب وشقوق في القشرة الأرضية حيث تبرد، وتتصلَّب هناك على شكل صخور بركانية (نارية) مختلفة الأشكال (الباتوليت، واللاكوليت، وغيرها). وجاء في القاموس أن الطافحة هي اليابسة الجافة.
- **المقاومة النوعيّة الوهمية:** مقاومة كهربائية تقاس أثناء الاستكشاف الكهربائي، والكاروتاج الكهربائي، تتعلَّق بتناسب المقاومات الكهربائية النوعيّة للخامات الجيولوجية، وظروف توضُّعها، وطرائق، وظروف إجراء القياس.
- **الكاروتاج:** طرائق في الحفر تُعتمد لدراسة الآبار العميقة بهدف دراسة المقطع الجيولوجي الذي توفره البئر، وإظهار ما يحتويه هذا المقطع من ثروات باطنية.
- **مصارف النفط والغاز والماء:** خامات مساميّة، أو متشقِّقة، يتجمَّع فيها النفط، أو الغاز، أو الماء.
- **طرق الاستكشاف الجيوفيزيائي:** طرائق لحلّ المسائل الجيولوجية، تقوم على دراسة، وتحليل الحقول الفيزيائية على سطح الأرض، أو في الآبار، أو في المناجم، أو في طبقات الجوّ، أو في البحار.
- **قابليّة الخامات والفلزّات للتمغنط:** قيمة تعبِّر عن قابليّة التمغنط في حقل مغناطيسي.
- **الاستكشاف المغناطيسي:** طريقة جيوفيزيائية في الاستشعار تقوم على دراسة الحقل المغناطيسي للأرض، وتغيُّراته، بفعل خواصّ مغناطيسية متنوِّعة للخامات، والفلزّات.
- **مقياس المغناطيسية:** جهاز لقياس توتر الحقل المغناطيسي.

- **المكمن:** تراكم طبيعي للثروات الطبيعية ضمن طبقات الصخور، والفلزّات. يمكن أن تشكِّل من حيث كميّاتها، ونوعيّتها مادة للإنتاج الصناعي في الظروف القائمة من المستوى التقني للآلات، والظروف الاقتصادية.
- **نقطة الارتكاز:** نقطة (مرتكز) من المكان تتمُّ فيها مراقبة دورية للتحكُّم بعمل الأجهزة الجيوفيزيائية.
- **الفلزّ:** نتاج لعمليات طبيعية ذات طبيعة كيميائية، أو فيزيائية غدا بموجبها متميّزاً كيميائياً على شاكلة الأجسام البسيطة من حيث اتحاداتها، و خلائطها.
- **النمذجة:** تنفيذ الظواهر الفيزيائية على الأنموذجات، ودراستها.
- **الطمي، أو الراسب النهري:** ترسُّبات جديدة رباعيّة تغطّي الصخور الأصليّة.
- **التنقيب عن مكمن الثروات الطبيعية:** مجموعة من الأعمال الجيولوجية، والجيوفيزيائية، وبعض الأعمال الأخرى التي تُجرى لتحديد الجدوى الصناعية للمكمن بهدف حسم موضوع تحويله بالكامل إلى الاستثمار.
- **طرق الاستكشاف الجيوفيزيائي بالأشعة:** طرق في البحث، والاستشعار تقوم على دراسة النشاط الإشعاعي للخامات، والفلزّات.
- **المقياس الإشعاعي:** جهاز لقياس النشاط الإشعاعي للفلزّات، والخامات.
- **الأبحاث الجيوفيزيائية المحلية:** دراسة الخصائص الأساسية للبنية الجيولوجية لأقسام كبيرة من القشرة الأرضية بهدف إنشاء خرائط جيولوجية بمقاييس صغيرة، وتحديد المناطق الواعدة للبحث، والتنقيب الدقيقين عن الثروات الباطنية، وبالاستعانة، بنفس الوقت، بطرق الاستكشاف الجيوفيزيائي.
- **المنحني البياني الزلزالي:** تسجيل للاهتزازات الزلزالية حسب الإشارات الواردة من المستقبِل الزلزالي.
- **المستقبِل الزلزالي:** جهاز إلكتروميكانيكي لتحويل ما يستقبله من الاهتزازات الميكانيكية للأرض إلى إشارات كهربائية.
- **الاستكشاف الزلزالي:** طريقة جيوفيزيائية في الاستكشاف، تعتمد على تسجيل الاهتزازات المرنة للخامات، والفلزّات المنبعثة عن تفجير، أو صدم، وفكّ شيفرتها.

- **المحطة الزلزالية:** مجموعة من التجهيزات الزلزالية، وأجهزة أخرى مساعدة، تقوم بتسجيل المعطيات الزلزالية، وتحليلها لاحقاً.

- **جيوفيزياء الآبار:** طريقة تعتمد على دراسة الحقول الفيزيائية في الآبار، وتهدف إلى دراسة المنطقة القريبة من البئر، أو المنطقة الواقعة بين بئرين.

- **بنية الخام:** مجموعة من الدلائل تحدِّدها قياسات، وشكل البلّورات المشكِّلة للخام.

- **الإلكترود (في الاستكشاف الكهربائي):** وسيلة تأريض خاصّة، تستعمل لإمرار التيّار الكهربائي في الأرض، وقياس فرق الكمون (التوتر أو الجهد الكهربائي).

- **الاستكشاف الكهربائي:** طريقة جيوفيزيائية للاستكشاف تقوم على دراسة الحقول الكهربائية، أو الكهرمغناطيسية سواء منها الطبيعية، أم التي يجري تشكيلها اصطناعياً في أعماق الأرض.

- **الطرق النووية في الاستكشاف الجيوفيزيائي:** طرق جيوفيزيائية تقوم على استخدام الخصائص النووية الداخلية للمواد المختلفة المكوِّنة للخامات، والفلزّات الطبيعية.

n

الصفحة

مقدمة المترجم ٥

١ - الجيوفيزياء - قصيدة الأعماق. ١٩

- الجيوفيزياء وليدة القرن العشرين.
- الجيولوجيا والفيزياء والرياضيات هي أسس الجيوفيزياء.
- الخواصّ الفيزيائية للأعماق تكشف أسرار الطبيعة.
- الجيوفيزياء تساعد في حماية الأعماق.

٢ - المغناطيس يبحث عن الكنوز الباطنية ويحل الألغاز. ٢٥

- الطبيعة ملأى بالعجائب.
- كانت البداية بوصلة بسيطة.
- «بساط الريح» والعصا السحرية.
- ثلاث ثورات في الاستكشاف المغناطيسي.
- ما هي طبيعة قاعدة هذا البرج؟
- كيف يجري كلٌّ هذا؟
- ما هي إمكانات الاستكشاف المغناطيسي؟

٣ - كيف تخترق الموجات الكهرمغناطيسية الأرض. ٤٩

- كيف تسير الأمواج الإشعاعية والراديوية تحت الأرض.
- ماذا عن أنطوان سانت إكزوبيري والاستكشاف الكهروجوي.
- الطبقة ذات الناقلية العالية للكهرباء تقع في الأعماق السحيقة.

٤ - كوكبنا الأرضي يخضع لتنصت الجيوفيزيائيين دائماً. ... ٦٣

- الزلازل نوافذ نطلٌّ منها على الأعماق.
- إن المقاومة الكهربائية النوعيّة للأعماق تتغير، وطالما استبعدنا ذلك.
- العواصف مصادر مهمَّة للطاقة الكهربائية والمغناطيسية.
- كلنا يستطيع المشاركة في مراقبة الطبيعة الجامدة.

٥ - المكامن المعدنية تصدر الرنين. ٨١
- الانفجارات والصدمات تسبب الزلازل.
- خواصّ المرونة تظهر عدم تجانس الأرض.
- الأمواج على سطح الماء وفي باطن الأرض.
- مفاجآت الأوساط المرنة.
- علم استكشاف الزلازل ورصدها يفتش عن مختلف الخامات الباطنية كالنفط والكوارتز والأملاح وخامات أخرى.
- ما هو الڤيبروسيس؟
- عامل الضغط الكهربائي في الطبيعة.
- يبدو أن كل شيء أصبح واضحاً، لكن...

٦ - قوة الجاذبية تبوح بأسرار الأعماق. ٩٩
- تبدو الجاذبية أمراً عادياً جداً، لكنه لا يزال غير مفهوم تماماً.
- يستطيع الإنسان فعل الكثير.
- أوزان ونوّاسات موجودة في كل مكان.
- حكاية بوليسية.

٧ - أسرار الهليوم والجيوفيزياء النووية. ١١٣
- كلُّ المعادن مشعَّة.
- نبوءة ڤرنادسكي.
- الساعات الجزيئية.
- اكتشافات مسجَّلة.
- مستكشف «غاما» الطائر.
- الموازين الفضائية.

٨ - الآبار البالغة العمق تشكّل فضاءً معكوساً إلى الأسفل. ١٢٩
- أسرار الأعماق الهائلة.
- ما هو الكاروتاج؟
- تصويبات في مسار درجات الحرارة.
- الجيوفيزيائيون يسعون لتأمين أفران مجانية.

الصفحة

٩ - الجيوفيزياء هي النظر الثاقب لعلم الآثار. ١٤٧

- ذهبُ سدٍّ (نينا).
- أفران الخزّافين تجذب الإبرة المغناطيسية.
- المستكشفون بالوسائل الكهربائية يرسمون خرائط ڤيلات روما القديمة.
- المرجاع يرسم مخططات المدن المغمورة بالماء.
- الأماكن الأثرية في مختلف مناطق العالم تنتظر الجيوفيزيائيين.

١٠ - الجيوفيزياء تساعد في عمليات البناء والبحث عن المياه الجوفية. .. ١٥٩

- تبدو أشباه الصخور غير ناقلة للتيّار الكهربائي، والأساسات المتجمدة لسنوات طويلة تتلف أنابيب التمديدات.
- الكهرباء تساعد على رؤية المياه الجوفية في باطن الأرض.
- الحجر الكلسي + الماء = كارس!

١١ - استخدامات الأجهزة الجيوفيزيائية في الحياة العادية. ١٦٧

- أعضاء حواس الحيوانات والأجهزة الجيوفيزيائية.
- الأسماك والكلاب والأغنام والنمل تحسُّ بالزلازل قبل وقوعها.
- البحث عن الخامات بوساطة «الكلاب الجيولوجية».
- البيونيك – أحد عناصر جيوفيزياء الغد.
- الأسباب المحتملة للعامل الجيوفيزيائي الحيوي وآفاق استخدامه مستقبلاً.

١٢ - هل من ضرورة لحماية المناجم! ١٨٣

- قياس قوة الثقالة الأرضية.
- المخابر الطبيعية للجيوفيزيائيين.
- حقول تجارب على امتداد البلاد.
- هل ننفق شيئاً للمحافظة على الخامات الطبيعية؟
- نستطيع جميعاً المشاركة في حماية النصُب الطبيعية.

١٣ - البروق الصغيرة تعكس الخواصّ الفيزيائية للمعادن. ١٩١

- فارادي يضع أسس ناقلية المعادن للكهرباء.
- كيريليان يعرِّض لوحة حساسة «فيلم» لشحنة كهربائية.

الصفحة

- ماذا يحدث عندما تخترق شحنة كهربائية الفلزّات.
- مناطق توزع المناجم تختلف باختلاف قيم القوة المحركة الكهرحرارية.

١٤ - هل أنت من روّاد المتاحف والمكتبات؟ ١٩٩
- الأرميتاج والجيوفيزياء.
- أين سيقام متحف تاريخ الجيوفيزياء؟
- مسرح العرائس ونمذجة الجبال.
- مكتبة الجيوفيزياء.
- الرسّامون وموظفو المكتبات والمتاحف ودورهم في الجيوفيزياء.

١٥ - إلى من يودُّ أن يصبح جيوفيزيائياً. ٢٠٧
- معهد التعدين في سانت بطرسبورغ (لينينغراد سابقاً) هو مهد أوائل المهندسين الجيوفيزيائيين.
- الدورة الأولى تخرَّج فيها مهندسان اثنان فقط.

١٦ - إلى محبِّي الرحلات. ٢٢٣
- لن تصطاد سمكة من بركة دون حركة.
- وجها العملة الواحدة.
- مقابلات على الدروب البعيدة.
- يجب أن نعرف كيف نقوم برحلاتنا.

١٧ - الجيوفيزياء علم هام ذو مستقبل عظيم. ٢٤٥
- حاجة اقتصاديات الدول إلى الثروات الباطنية.
- مهندس الجيوفيزياء مطلوب للعمل في كلِّ الأمكنة.
- إن اسمك قد يظهر على خارطة جيوفيزيائية.

الطبعة الأولى / ٢٠١٤م

عدد الطبع ١٠٠٠نسخة

إنه حديث حيوي ممتع عن الجيوفيزياء كعلم عن الأرض يقوم على دراسة الأسس والخصائص الكهربائية والمغناطيسية والإشعاعية للمواد الخام، وخواصّ مرونة الفلزّات. وهذا ما يستحوذ على أهمية فائقة في دراسة بنية الأرض، وتركيبها، وفي البحث عن الخامات الباطنية، وكشفها، وحلّ بعض المعضلات العلمية والإنتاجية.

يُظهر الكتاب أيضاً كيف أن الجيوفيزياء دخلت، عملياً، في أيامنا هذه كل مجالات النشاط البشري من دراسة الفضاء الخارجي إلى علوم الجيولوجيا والآثار (الأركيولوجيا) والبحث عن الكنوز المفقودة.

وزارة الثقافة
الهيئة العامة السورية للكتاب
www.syrbook.gov.sy
E-mail: syrbook.dg@gmail.com
هاتف: ٢٣٣٢١١٦٤
مطابع الهيئة العامة السورية للكتاب - ٢٠١٤م
سعر النسخة ٤١٠ ل.س أو ما يعادلها